

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Получение водорода при воздействии на воду напряжением постоянного тока

УДК 661.965

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8B	Ложкин Анатолий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп.	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Обухов С.Г.	д.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять

	оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.
--	---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) С.Г. Обухов

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8B	Ложкину Анатолию Сергеевичу

Тема работы:

Получение водорода при воздействии на воду напряжением постоянного тока	
Утверждена приказом директора ИШЭ	Приказ № 44-45/с 13.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходные данные к работе	<p>Макет электролизной установки, для исследования влияния импульсного напряжения на эффективность электролиза воды. Для изучения существующих решений, мероприятий обеспечения безопасности и экономических расчетов пользоваться следующими источниками:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нормативные документы; 2. Авторефераты; 3. Диссертации; 4. Учебная литература.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Провести обзор литературы, выявить наиболее удачные решения. 2. Провести эксперименты по выявлению значимых параметров для электролизных ячеек.

	3. Изготовить экспериментальную электролизную ячейку, оценить ее начальные параметры (производительность, КПД) 4. Разработать и реализовать электрическую схему для создания импульсного напряжения постоянного тока 5. Провести повторную оценку параметров ячейки, с подбором оптимальных параметров частоты и амплитуды импульсов. 6. Указать необходимые меры безопасности при использовании данной установки. 7. Расчет экономических показателей установки. 8. Описать расширенные выводы по перспективе импульсного электролиза.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Принципиальные электрические схемы и цепи управления. 2. Принципиальная схема установки
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.э.н., доцент Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Ст. преп. Романова С.В.
Иностранный язык	к.ф.н., доцент Воробьева В.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
The study of the process of pulsed electrolysis of water	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		15.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8B	Ложкин Анатолий Сергеевич		15.02.2020

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 127 страниц, 36 рисунков, 40 таблицы, 49 использованных источников.

Ключевые слова: импульсный электролиз, импульсное напряжение, поляризация воды, повышение эффективности электролиза, исследование, реализация.

Объектом исследования является повышение эффективности электролиза для повышения технико-экономических показателей данного метода получения водорода.

Цель работы: разработать ячейку по производству водорода работающему на импульсном напряжении с повышенными показателями КПД и производительности, что в свою очередь позволит создавать автономные объекты энергоснабжения в труднодоступных местах, при значительном снижении затрат.

В процессе исследования: Выявлены основные параметры, влияющие на эффективность водородных ячеек на импульсном напряжении. Реализована экспериментальная ячейка, работающая на импульсном напряжении. Получены сравнительные данные по повышению КПД в сравнение с постоянным током. Указаны необходимые меры безопасности при работе с данными установками.

Проведен теоретический расчет экономических показателей при модернизации действующих водородных генераторов разработанным методом ИЭ. Подсчитан и проведен анализ экономического эффект и перспектив развития данного направления.

Анализ социальной ответственности при эксплуатации установок на водороде выявил ряд важных факторов обеспечения безопасности, проработаны возможные вредные и опасные факторы. Выявлены возможные ЧС, как при эксплуатации, так и при дальнейшем исследовании метода ИЭ. Разработан план действий в случае возникновения ЧС.

Проведена перевод экспериментальной части на английский язык, для популяризации данной работы в зарубежных научных изданиях.

Определения, обозначения, сокращения

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Электролиз - физико-химический процесс, состоящий в выделении на электродах составных частей растворённых веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электродах, который возникает при прохождении электрического тока через раствор, либо расплав электролита.

Постоянный ток - электрический ток, который с течением времени не изменяется по величине и направлению.

Импульсное напряжение – это резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня

Водород - химический элемент периодической системы с обозначением Н и атомным номером 1, самый лёгкий из элементов периодической таблицы.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р ИСО 22734-1-2013 Генераторы водородные на основе процесса электролиза воды. Часть 1. Генераторы промышленного и коммерческого назначения (Сведения о разработчике);

ГОСТ Р ИСО 22734–2–2014 Генераторы водородные на основе процесса электролиза воды. Часть 2. Применение в жилых помещениях;

ГОСТ Р 55891-2013 Водород газообразный и водородные смеси. Бортовые системы хранения топлива для транспортных средств.

Сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

ИЭ – импульсный электролиз;

DC – постоянный ток;

УТ – условное топливо;

КЭ – коаксиальные электроды;

ТО – техническое обслуживание.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание на выполнение выпускной квалификационной работы	4
Реферат	6
Определения, обозначения, сокращения	7
Введение	10
1. Обзор литературы	12
1.1. Разработки Стенли А. Майера.....	12
1.2. Исследования по статье: «Электролиз воды с импульсным индуктивным напряжением»	20
1.3. Выводы по обзору литературы.....	37
2. Экспериментальная часть.....	38
2.1. Эксперименты по выявлению основных параметров для изготовления экспериментальной установки	38
2.2. Выводы по экспериментальной части:	47
3. Изготовление ячейки	48
3.2. Электрическая схема	49
3.3. Реализация ячейки	53
4. Экспериментальная часть.....	53
4.1. Экспериментальные замеры производительностей ячейки	53
4.2. Рекомендации для изготовления рабочего прототипа.....	56
4.3. Выводы по экспериментальной части	57
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Введение	59
5.1. Предпроектный анализ	59
5.2. Потенциальные потребители результатов исследования	61
5.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	62
5.4. SWOT – анализ	63
5.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации	68
5.6. Методы коммерциализации результатов научно – технического исследования	69
5.7. Инициация проекта	70
5.8. Планирование и формирование бюджета научного исследования	71
5.8.1. Контрольные события проекта.....	71
5.8.2. План проекта	72
5.9. Бюджет научного исследования (НИ)	74
5.9.1. Расчет материальных затрат НИ	74
5.9.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	75
5.10. Основная заработная плата	76

5.11.	Дополнительная заработная плата научно – производственного персонала.....	78
5.12.	Отчисления на социальные нужды	78
5.13.	Накладные расходы	79
5.14.	Организационная структура проекта	81
5.15.	Матрица ответственности	81
5.16.	План управления коммуникациями проекта.....	82
5.17.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки импульсного электролизера	83
	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	86
6.	Социальная ответственность. Введение	89
6.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	90
6.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.	90
6.1.2.	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.	91
6.1.3.	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	92
6.2.	Производственная безопасность	93
6.2.1.	Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. 94	
6.2.2.	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.....	97
6.2.3.	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	97
6.3.	Экологическая безопасность.	97
6.3.1.	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	97
6.3.2.	Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.	98
6.3.3.	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	99
6.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	99
6.4.1.	Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.	99
6.4.2.	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта.	100
6.4.3.	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.	100
6.5.	Выводы по разделу: «Социальная ответственность»	102
	Заключение по магистерской диссертации.....	103
	Список источников.....	104
	Приложение А.....	110

Введение

В наше время современное общество сложно представить без электричества. В связи с ограниченностью рентабельных для добычи ископаемых видов топлива, таких как нефть, газ, уголь, уран, переход на не традиционные методы получения энергии становится необходимостью. Одним из таких методов является водородная энергетика [1].

Водород является самым распространённым элементом на Земле, но проблема заключается в том, что он находится во все возможных соединениях и отсутствует в чистом виде. В связи с этим разрабатываются новые и модернизируются уже используемые методы его получения.

В настоящее время в промышленности применяют 4 основных способа:

- Конверсия метана водяным паром в реакторах с кипящим слоем дисперсного катализатора;
- Газификация углерода твердого топлива водяным паром;
- Термическое разложение (пиролиз) метана;
- Электролиз воды постоянным током.

Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, но для каждого требуется большое количество условного топлива для получения необходимого водорода. В таблице 1 приведен коэффициент удельного расхода условного топлива необходимого для производства 1 кг водорода [2].

Таблица 1. Коэффициент удельного расхода условного топлива для указанных методов

Коэффициент удельного расхода	Способ получения			
	Конверсия	Газификация	Пиролиз	Электролиз
$b^*, (\text{кг}_{\text{УТ}})/(\text{кг H}_2)$	4.74	6.24	7.56	27.77

Этот параметр является одним из главных факторов формирующие высокую себестоимости производимого водорода. В настоящее время его стоимость слишком велика для использования в качестве топлива для электрогенераторов (1 кг водорода \approx 5\$). Большая его часть поставляется нефтехимическим производствам для различных технологических процессов. Указанный в таблице 1 электролиз - традиционный, т.е. расщепление воды происходит под действием больших токов постоянного напряжения [2].

Сократив расход топлива до минимума появится возможность перевода электрогенераторов с ископаемых видов топлива, на почти неисчерпаемый водород. Это является актуальной задачей современности.

К одному из главных преимуществ водорода, по сравнению с остальными видами топлива, относят то, что при его горении образуется только вода и тепло. Это существенно скажется на состоянии окружающей среды [1].

В настоящее время ведутся разработки в различных областях данного направления. Транспортировка водорода в nano трубках, покрытие электродов различными оксидами металлов, использование новых электролитов, применение различных параметров среды в которых происходит реакция и т.д. Все это повышает КПД установок [3].

Автомобильные концерны давно интересовались технологией, благодаря которой машины смогут передвигаться на воде, но в настоящее время отсутствуют эффективные электролизеры, которые отвечали нескольким параметрам, которые важны для современных автомобилей, а именно:

- Компактность;
- Высокая выработка водорода;
- Низкое энергопотребление установкой.

Существуют установки, которые способны обеспечить второй пункт, но их размеры и необходимость в энергии не дают возможность к их применению в автомобильной отрасли. Однако технология способная полностью обеспечивать автомобиль водородом уже была разработана и реализована в жизнь еще в 1989 году. Стенли А. Майер изобрел топливную ячейку, которая получила название «Водяная топливная ячейка Стенли А. Майера». Он выпустил книгу «Birthday of new technology» в которой объединил все свои разработки в водородной области. От основных принципов, заложенных в его установку, до инжекторов, подводимых к ДВС. В конце 80ых годов собрал багги, который передвигался только на воде, о чем свидетельствуют документальные фильмы с участием самого Стенли. В настоящее время такие корпорации как Toyota, BMW собираются выпустить серийные автомобили использующие в качестве топлива водород. Пополнять его запас они будут на специальных заправках, что будет требовать дополнительных затрат на оборудование, организацию поставок, разработку норм и правил безопасности при перевозке водорода и подачи водорода в бак автомобиля. Это скажется сильным повышением цены за унцию такого топлива. Главное отличие предлагаемой Мейером установки является непосредственная генерация водорода в самой машине с последующей обработкой «сырого» водорода и доведение его до высокоэнергетического состояния. Самое главное в его разработке то, что все это работало от обычного автомобильного аккумулятора 12 В [5]. Благодаря оставленной книге и патентам его технология не была утеряна полностью [4].

Актуальность данной работы связана в первую очередь с перспективностью расщепления воды под действием электрического поля, т.е. реализация поляризационного

электролиза, который позволит существенно снизить затраты на электроэнергию. Ученые из Индии достигли в данном вопросе наибольшие успехи, но по данным из других исследований, проблема заключается в получении резонанса и подбора необходимых частот для достижения той самой поляризации молекулы воды.

Объектом исследования взятая за основу является разработка Стенли А. Мейера, а именно коаксиальная электролизная ячейка.

Предметом исследования выступает задача по повышению КПД созданной водородной ячейки.

1. Обзор литературы

1.1. Разработки Стенли А. Мейера

За счет чего изобретение Мейера так эффективно? Секрет кроется в воздействии на воду импульсным напряжением, в отличие от обычного процесса электролиза, действие которого происходит под постоянной разницей потенциалов с высокими токами. В ячейке вода подвергается действию малых токов, следовательно, ее температура всегда остается низкой и не требует установки охлаждающих систем, что в свою очередь уменьшает потери энергии вырабатываемого газа. На рисунке 1.1.1 приведена принципиальная схема установки [4].

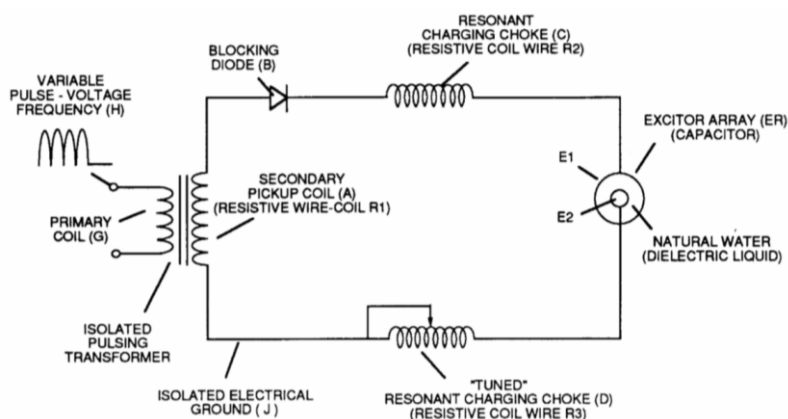


Рис. 1.1.1 Схема повышения напряжения

В данной схеме используется:

Импульсный трансформатор (A/G), данное устройство поднимает амплитуду напряжения или разницу потенциалов в течении импульсов. Изолированное электрическое заземление (J) предотвращает движение электронов от входной цепи. Автор книги часто

упоминает о том, что необходимо предотвращать движение электронов или их утечку во вторичной цепи.

Блокирующий диод (В) предотвращает короткое замыкание во вторичной обмотке (А) во время импульса, так как он проводит электрическую энергию только положительной полуволны.

На рисунке 1.1.2. представлена схема индуктор-конденсатор (LC). Она соответствует тому, что изображено на рис. 1.1.1., т.к. резонансный зарядный дроссель (С) соединен последовательно с матрицей возбуждения E1/E2 (ER), в которых ER работает как конденсатор. Принцип его работы будет объяснен далее.

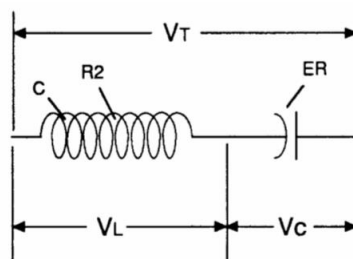


Рис. 1.1.2. LC схема

Диэлектрические свойства простой воды, находящаяся между электрическими пластинами (E1/E2) образуют конденсатор ER. Диэлектрическая постоянная воды равна 78.54 при $t=25^{\circ}\text{C}$. Вода становится частью схемы усиления напряжения в виде сопротивления между заземлением и частотными импульсами положительного потенциала, помогающий предотвратить поток электронов во вторичной цепи (рис 1.1.1.).

Индуктор (С) становится модулятором, который усиливает колебания заданной частоты с эффективной емкостью в соответствие с импульсами от первичной цепи, чтобы заряжать обкладки конденсатора (E1/E2) более высоким потенциалом чем на входе.

Индуктивность (С) и емкость (ER) этой LC схемы настраивается на резонанс с определенной частотой. Она может быть повышена или уменьшена путем изменения параметров элементов. Установленная резонансная частота не зависит от амплитуды напряжения, это видно на рисунках 1.1.3, 1.1.4.

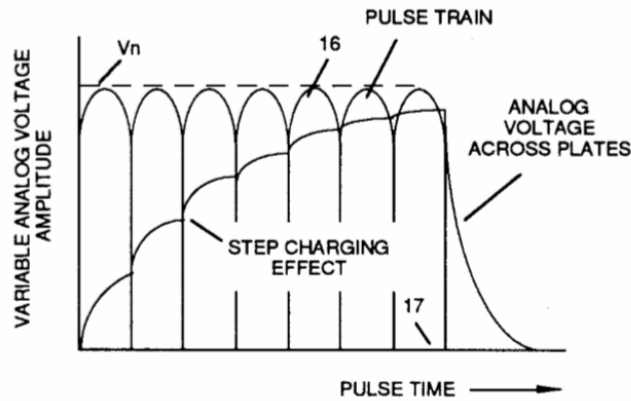


Рис. 1.1.3. Прикладываемое напряжение к пластинам

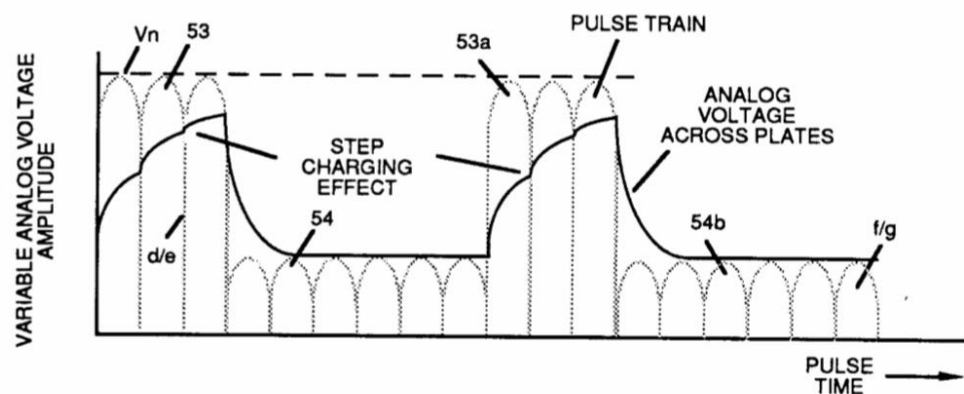


Рис. 1.1.4. Прикладываемое напряжение к резонансной плоскости

Значения индуктивности (C), емкости (ER) и частоты импульса напряжения, подаваемого по схеме LC, определяет ее сопротивление.

Сопротивление индуктора и конденсатора соединённых последовательно можно рассчитать по формуле:

$$Z_{\text{Послед.}} = X_C - X_L, \text{ где} \\ X_C = \frac{1}{2\pi f C}, X_L = 2\pi f L.$$

Частота резонанса (F) последовательной LC схемы вычисляется по формуле:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Закон Ома для такой цепи:

$$V_t = I \cdot Z.$$

Напряжение через индуктор и конденсатор будет выше прикладываемого на входе. На частоте близкой к резонансу, напряжение через отдельные компоненты будет выше чем входное и на резонансной частоте, напряжение V_t по обоим индуктивностям и емкостям теоретически бесконечно. Однако, физические ограничения компонентов и взаимодействия схемы препятствуют достижению напряжением бесконечного значения.

Напряжение через индуктивность задается формулой:

$$V_L = \frac{V_t \cdot X_L}{X_L - X_C}.$$

Напряжение конденсатора задается формулой:

$$V_C = \frac{V_t \cdot X_C}{X_L - X_C}.$$

При резонансе входящая однополярная последовательность импульсов на рисунке 1.1.5, создает шаговый заряд по напряжению через блок возбуждения, это изображено на рисунках 1.1.3 и 1.1.4. Амплитуда напряжения увеличивается от нуля (заземленного состояния) до высшего положительного потенциала в растущей функции. Как только импульс напряжения прекращается или отключается, амплитуда напряжения возвращается в нулевое состояние или близкое к нему, чтобы снова начать процесс отклонения.

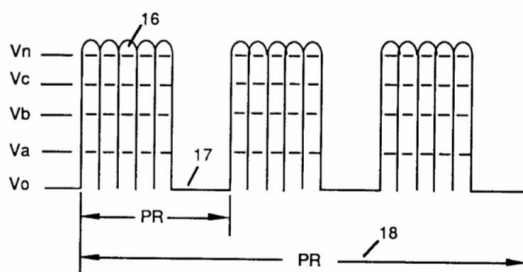


Рис. 1.1.5. Переменная амплитуда напряжения, входящая от однополярных частотных импульсов, динамически управляющая вырабатываемое количество водорода по требованию при подавлении потока тока.

Амплитуда напряжения через блок возбуждения может превысить 20 кВ, из-за взаимодействия элементов в цепи, и непосредственно связана с входящим потоком импульсов различной амплитуды.

Индуктивность сделана из проволоки у которой имеется активное сопротивление, это позволяет еще больше ограничить ток за пределами реактивной составляющей, рассчитать ее можно по формуле:

$$Z = \sqrt{R_L^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Катушка с переменной индуктивностью (D), соединенная с ветвью противоположной полярности, дополнительно препятствует движению электронов в цепи усиления напряжения. Подвижным рычагом, настраивается резонанс во время импульсов. Эта индуктивность относительно индуктивности в другой ветви электрически уравнивает противоположный потенциал во всех зонах потенциала (E1/E2)

Поскольку первичная катушка также выполнена из резистивных компонентов, тогда полное сопротивление цепи будет определяться как:

$$Z = R_I + Z_2 + Z_3 + R_E, \text{ где}$$

R_E - диэлектрическая постоянная простой воды

Закон Ома относительно электрической мощности:

$$E = I \cdot R, \text{ где}$$

$$P = I \cdot E.$$

Посредством чего, электрическая мощность (P) является линейным отношением между двумя переменными, напряжением и током.

Напряжение — это «электрическое давление» или «электрическая сила» в электрических цепях известная как разность потенциалов. Более высокий потенциал, создает большую электрическую силу это применяется в электрических схемах. Потенциал является неизменяемым энергетическим состоянием, когда движение электронов в цепи ограничено.

Разноименные заряды напряжения в электрических цепях создают силу притяжения, в то время как одноименные заряды отталкиваются друг от друга. В обоих случаях, движение заряженных частиц зависит от приложенного напряжения. Эти электрические силы известны как полярность частицы и может проявляться как положительный или отрицательный заряд.

Также, ионы или частицы в электрической цепи, имеющие разноименные заряды, притягиваются друг к другу. Ионы или масса частиц, имеющих одинаковые заряды, будут отталкиваться друг от друга, это изображено на рисунке 1.1.6 [4].

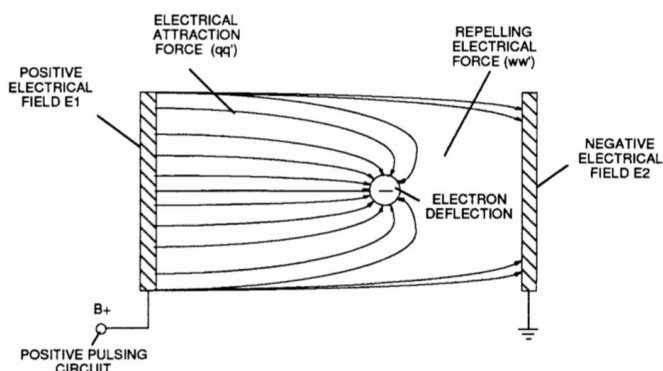


Рис. 1.1.6. Работа, выполняемая разностью потенциалов

Более того, электрический заряд ионов или частиц может двигаться к полям стационарного напряжения противоположной полярности, согласно второму закону Ньютона:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}, \text{ где}$$

a – Ускорение, m – массы частиц, F – сила сети.

Посредством чего, сила сети (F) представляет собой «электрическую силу притяжения» между разноименными электрически заряженными частицами и определяется по закону Кулона:

$$F = \frac{qq'}{R^2}.$$

В то время как, разность потенциалов между двумя зарядами может быть определена как работа необходимая для их сближения, задается формулой:

$$V = \frac{q}{eR}$$

Потенциал в точке заряда – q , расстояние между ними – R , диэлектрическая постоянная среды – e .

Структура атомов может проявляться в двух типах электрически заряженных частиц. Орбитальные электроны имеют отрицательный заряд (-) и ядро состоит из протонов, имеющих положительный заряд (+). В стабильном электрическом состоянии, количество отрицательно и положительно заряженных частиц уравновешено, формируя нейтрально заряженный атом.

Всякий раз, когда, один или более электронов покидают атом, атом принимает положительный электрический заряд и называется положительный ион, если же электрон присоединить к атому, то он примет отрицательный заряд и будет иметь название отрицательный ион [4].

Разность потенциалов в пределах электрической цепи (см. схему усиления напряжения рис. 1.1.1) может вызвать смещение одного или более электронов из атомов из-за притяжения противоположной полярности, в связи с притяжением разноименных зарядов, это изображено на рисунке 1.1.8. (См. рисунок 1.1.6 и 1.1.9) относительно законов электрической силы Ньютона и Кулона (RR).

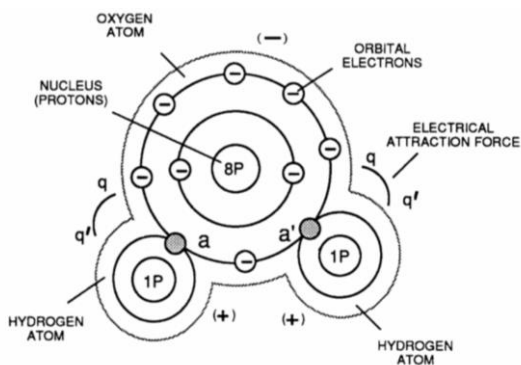


Рис. 1.1.7. Электрические заряды в молекуле воды

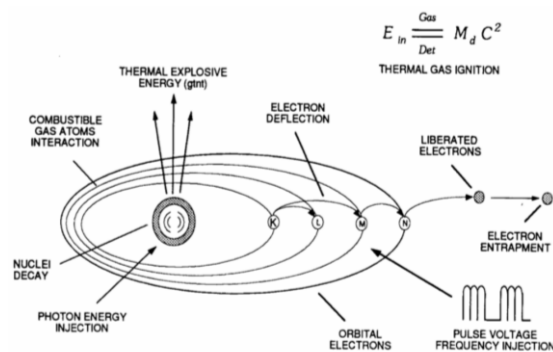


Рис. 1.1.8. Процесс получения водорода

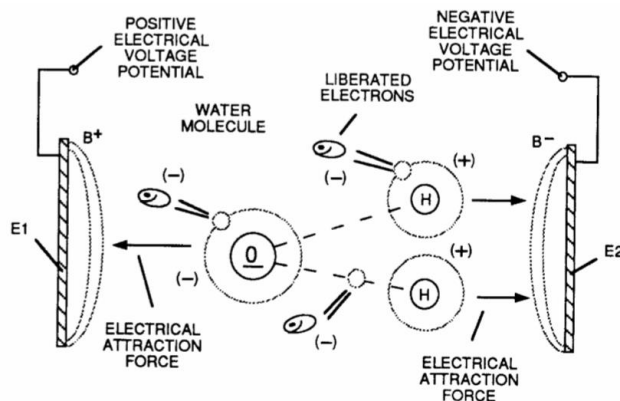


Рис. 1.1.9. Процесс поляризации

Результирующая электрическая сила притяжения (qq') объединяет разноименные атомы ковалентными связями с образованием молекул газа, солей или жидкостей.

Когда атом кислорода соединяется с двумя атомами водорода он образует молекулу воды, при этом он принимает электроны водорода (рисунок 1.1.7), атом кислорода получает отрицательный заряд $(-)$ поскольку атом кислорода перестраивается и теперь имеет 10 электронов и только 8 протонов. Атом водорода отдав электроны приобретает положительный заряд, равный электрической интенсивности отданных двух электронов, разделяемый с атомом кислорода. Это удовлетворяет законом физики, на каждое действие есть равное противодействие. Общая сумма двух положительных зарядов атома водорода $(++)$ равнозначны отрицательным зарядам атома кислорода $(--)$, образуя нейтрально заряженную частицу воды. Только разноименные атомы молекулы воды имеют противоположные электрические заряды.

Пропускание импульсного напряжения через матрицу возбуждения (ER) при подавлении утечки электронов в цепи усиления напряжения (AA), приводит к тому что молекула воды разделяется на ее составные части посредством мгновенного оттягивания орбитальных электронов молекулы воды, это изображено на рисунке 1.1.9 [4].

Статическое положительное электрическое поле E_1 не только притягивает отрицательно заряженный атом кислорода, но также оттягивает отрицательно заряженные электроны молекулы воды. В какой-то момент, статическое отрицательное электрическое поле E_2 притянет положительно заряженные атомы водорода. Как только отрицательно заряженный электрон оторвется от молекулы воды ковалентная связь разрывается, прекращая действие электрической силы притяжения (qq') между атомами молекулы воды.

Освобожденные и двигающиеся атомы (имеющие недостающие электроны) захватывают свободные электроны, когда напряжение отключается во время импульсного режима. Освобожденный и электрически стабильный атом имеет нулевой электрический заряд, покидая воду в виде газообразного водорода.

Распад молекулы воды с помощью воздействия напряжением получил название «Поляризационные электрические процессы».

Воздействуя на молекулу воды еще более высокой амплитудой напряжения освобожденные атомы переходят в состояния ионизации газа. Каждый освобожденный атом берет на себя нейтральный электрический заряд. Ионизированный атом со свободными электронами теперь отклоняются (импульсное электрическое напряжение полей противоположной полярности) через процессы электрической поляризации, накладывая вторую физическую силу (воздействие частиц) на электрически заряженную воду. Колебания электрически заряженных частиц посредством отклонения напряжения в дальнейшем получило название «резонансное действие», это изображено на рисунке 1.1.10 [4].

Ослабление и настройка амплитуды импульсов напряжения с учетом частоты импульсов, позволяет производить водородный газ по мере необходимости, регулируя ток.

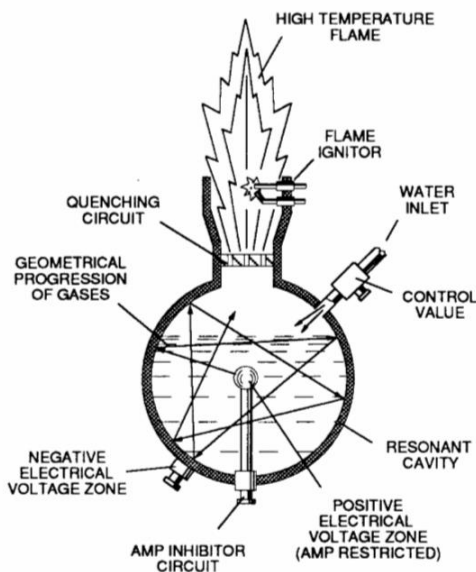


Рис. 1.1.10. Электрические зоны напряжения образующие резонансную плоскость

Патенты, которые указаны далее в книге связаны с последующими блоками системы, которые обогащают производимый водород. Это системы впрыска и т.д. Они будут исследованы позднее. Первоочередная задача получить рабочий прототип генератора газа, в основе которого лежат принципы, указанные выше.

1.2. Исследования по статье: «Электролиз воды с импульсным индуктивным напряжением»

Многие в настоящее время заинтересованы в технологии Майера. Поиск в научных базах данных показал, что одна группа ученых смогла достичь хороших результатов в исследовании и разработках по оставшимся патентам, и опубликовали результаты в статье «Water electrolysis with inductive voltage pulses». Ее авторы: Мартин Ванагс, Янис Клеперис и Гунарс Баярс [5].

Ученые так же, как и другие [1, 2, 4] выделяют водород как экологически чистое топливо. Они начали изучение новой технологии, в связи с тем, что среднее КПД установок, генерирующих водород не превышало 50% [6]. Большая эффективность достигается в замкнутых термохимических циклах. Вырабатываемый газ в них является попутным продуктом. Изучение традиционного электролиза воды показал, что эффективность резко увеличивается при импульсном напряжении. Высокий КПД важен для устройств, которым водород необходим в определенный момент, например, сварочные аппараты, ДВС автомобилей.

Исследователи более подробно объяснили процесс, происходящий в момент пропуска импульса электричества через воду. Сразу после возникновения разницы потенциалов в системе, наблюдался кратковременный всплеск тока. Когда приложенное напряжение было отключено, значительный ток продолжает течь в течение короткого времени.

Применение импульсного электролиза позволяет разделить диффузионный слой электрод на две части.

Первая часть расположена на поверхности электрода, которая является импульсным диффузионным слоем. Характеризуется концентрацией импульсов активных ионов. Изменения происходят от момента подачи импульса до его окончания. Концентрация активных ионов в импульсе может уменьшаться, но не достигая нуля. Время, за которое она

упадет до нуля, называется временем перехода τ . Оно зависит от импульсного тока i_p и продолжительности импульса T [5].

Вторая часть стационарна, как диффузионный слой при постоянном токе, если он относительно мал, т.е. $c_e \approx c_0$, где c_e - концентрация ионов в внешнем краю импульсного слоя, а c_0 - объемная концентрация, т.е. все заряженные частицы учувствуют в импульсе.

Время перехода можно найти по уравнению Санда:

$$\tau = \frac{\pi D c_0^2 (zF)^2}{4 i_p^2},$$

где F - постоянная Фарадея, z - зарядное число, а D - коэффициент диффузии.

Толщина импульсного слоя δ_p в конце импульса зависит только от плотности импульсного тока:

$$\delta_p = 2 \left(\frac{DT}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Уменьшая длительность импульсов, можно создать тонкий импульсный слой. Он позволит временно создавать большие плотности тока через металлические пластины (более, чем 250А / см², что в 10000 раз превышает токи при обычном электролизе). Это ускоряет процессы, происходящие на металлическом гальваническом покрытии. Грубая и пористая поверхность образуется на пластинах электролизеров на постоянном токе, в связи с большими токами на протяжении всего срока эксплуатации. Это уменьшает эффективность установки и требует проведения регулярного ТО.

Когда используется импульсный ток, пульсирующий диффузионный слой всегда будет тоньше шероховатостей поверхности. Достигая предел массопереноса, поверхность пластин еще однородна и скопирует шероховатость подложки. Эта особенность дает предпочтение импульсному току при процессе металлизации. Из выше сказано можно сделать вывод о том, что при использовании импульсного электролиза на поверхностях электродов не будет образовываться примесные включения. Это позволяет установке работать с максимальной мощностью на протяжении всего срока эксплуатации [5].

Авторы статьи выделяют два вида импульсов. Подача которых на установку показывает наибольшую перспективность. Это прямоугольный и синусоидальный импульс. Применение синусоидальных импульсов напряжения показало значительное различие по сравнению с обычными электролизерами. Заключение этого исследования заключается в том,

эффективность электролиза не зависит от мощности, что противоречит общепринятому мнению о данном процессе [5].

Авторы статьи ставили перед собой цель изучить синусоидальный электролиз. Для этого были поставлены следующие задачи исследования:

- разделяет ли импульсный ток геометрическую емкость ячейки;
- происходит ли образование двухслойного зарядного тока от тока электрохимической реакции с переносом заряда.

Для изучения данных вопросов, ими было проведено много экспериментов, которые позволили рассмотреть процесс зарядки двойного слоя при использовании импульсного электролиза. Поиск по научным базам данных показал, что изучением импульсного электролиза занимались в 1950 – 1960 годах, но т.к. авторы данной статьи так же опирались на них, поэтому к рассмотрению данные статьи не применялись.

При проведении исследования учеными не использовался датчик для обнаружения растворенного кислорода вблизи катода в процессе импульсного электролиза.

Для генерации импульсного синусоидального напряжения была реализована схема, представленная на рисунке 1.2.1. Состав схемы: импульсный генератор, источник постоянного тока, полевой транзистор BUZ350 и диод для предотвращения протекания тока в противоположное направление, с временем закрытия 10 нс [5].

Управление полевым транзистором было обеспечено с помощью генератора прямоугольных импульсов, с установленным коэффициентом скважности $K_{СКВ}=50\%$.

Для создания синусоидальных импульсов был применен бифилярный широкополосный трансформатор, в котором параллельные обмотки расположены близко друг к другу. Подключений последовательно к первичной катушке транзистор обеспечивал на входе импульсы прямоугольного напряжения малой амплитуды. Во вторичной катушке возникало явление взаимоиндукции, при $K_{тр}=1$, возникали индуктивные импульсы высокой амплитуды с полярностью обратной прикладываемой. Далее проходя через диод импульс прикладывался к генерирующей ячейке, длительность применяемых импульсов ~ 1 мкс. Для отслеживания напряжения и тока в цепи применялся осциллограф GWinstek GDS-2204.

Далее представлены более подробные характеристики используемого импульсного трансформатора, на ферритовом стержне:

Длина катушки – 200 мм;

Диаметр катушки – 23 мм;

Количества витков первичной/вторичной обмоток – 75/75;

Результирующая индуктивность трансформатора составляет – 25 мкГн.

Список всех используемых материалов и устройств в ходе исследования приведен в таблице 1.2.1 [5].

Таблица 1.2.1. Материалы и устройства, используемые в эксперименте

	No	Name	Parameters	Producer
Chemicals	1.	KOH	99%	Aldrich
	2.	NaOH	99%	Aldrich
	3.	LiOH	99.9%	Aldrich
	4.	K ₂ CO ₃	99.8%	Aldrich
	5.	H ₂ SO ₄	95%	Aldrich
	6.	(NH ₂) ₂ CO	98%	Aldrich
	7.	H ₂ O	0.1 μS	Deionised
Metals	1.	Stainless Steel (parameters Table 2)		316L
	2.	Tungsten	95%	Aldrich
	3.	Platinum	99.9%	Aldrich
Equipments and Instruments	1.	DC power supply Agilent N5751A	300V; 2.5A	Aligent echnologies
	2.	Frequency Generator GFG-3015	0 – 150 MHz	GW-Instek
	3.	Oscilloscope GDS-2204	4 beams, resolution 10 ns	GW-Instek
	4.	Power Meter HM8115-2	16A, 300V	Hameg Instruments
	5.	Water Deionization Crystal – 5	Water - 0.1 μS	Adrona Lab.Systems
	6.	Massspectrometer RGAPro 100	0 – 100 m/z units	Hy-Energy
	7.	X-ray fluorescence spectrometer EDAX/Ametek, Eagle III		Ametek
	8.	Microsensors for dissolved gases H ₂ and O ₂	Resolution 0.1 μmol/l	Unisense, Denmark

Таблица 1.2.2. Процентное содержание элементов в используемой для электродов стали 316L (мас. %)

Element	C	Si	P	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Quantity, wt%	0.12	0.83	0.04	0.02	0.67	17.88	2.02	68.36	9.77	0.29

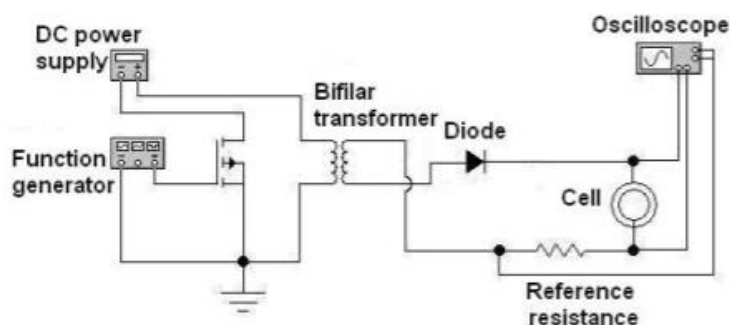


Рис. 1.2.1. Экспериментальная схема для создания синусоидальных импульсов обратной полярности

Дальнейшие исследования условно делятся на пять разделов [5]:

- Исследование скорости генерации газа и технико-экономических коэффициентов;
- Изучение кинетических свойств генерируемого индуктивного импульсного напряжения при изменении концентраций электролитов при статическом расстоянии между электродами;
- Экспериментальное описание проведения измерения концентраций растворенного водорода на поверхности катода при использовании респираторных сенсоров;
- Изучение кинетических свойств генерируемого индуктивного импульсного напряжения в электролитах малой концентрации;
- Проведение измерений по определению чистоты генерируемого водорода на катоде с использованием кислородного датчика. Количественное выделение газов при электролизе определялось по объемным концентрациям, рисунок 1.2.2., т.е. для 3 см³ сгенерированной смеси объем H₂ составит 2 см³, а для O₂ 1 см³. Соответственно объемное соотношение составляет $\frac{2}{3}$ и $\frac{1}{3}$.

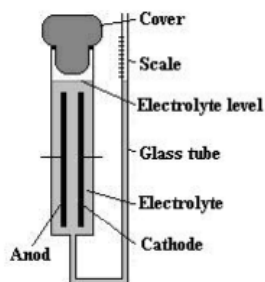


Рис. 1.2.2. Принципиальная схема определения объема выделяемых газов.

Зная время, ток, напряжение и полученный объем водорода появляется возможность рассчитать массу полученного газа и другие необходимые энергетические параметры, такие как потребляемая мощность, энергия, выделяемая при сгорании, КПД и т.д. Теплопроводность водорода, принятая исследователями – 140 МДж/кг [5].

Для проведения экспериментов была изготовлена электролизная ячейка с возможностью регулировки положения одного электрода. Электроды были изготовлены из стали SUS316L их площадь составляет по 2 см². Электроды расположены параллельно друг

другу. Перед началом экспериментов была осуществлена механическая обработка и промывка ацетон и деионизированной водой.

В качестве раствора электролита использовался щелочной раствор КОН, с различными концентрациями. Изменение расстояний между электродами осуществлялось от 1 мм до 5 мм, при шаге 1 мм, для каждой точки расстояния были проведены измерения при всех используемых концентрациях. Проводилось снятие осциллограмм для изучения энергетических характеристик протекающих процессов [5].

Измерение концентрации водорода на катоде осуществлялось с помощью датчика, принципиальное устройство изготовленной ячейки приведено на рисунке 1.2.3.

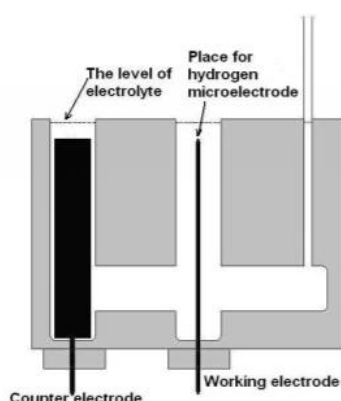


Рис. 1.2.3. Электролизная ячейка обеспечивающая возможность измерения концентрации водорода на катоде.

Также в проводимых экспериментах применялись другие электроды из других материалов: вольфрам, никель, платина.

В область регулируемого электрода помещалась никелевая пластина, а в рабочей зоне использовались провода из вольфрама и платины с диаметром 0,5 мм и длиной 100 мм. В третью камеру ячейки помещался для установки датчиков определения концентрации водорода. Также, как и в случае со стальными электродами происходила механическая и химическая обработка указанных выше электродов [5].

Используемый датчик определения концентрации растворенного водорода выполнен на принципе работы Кларка. Данные устройства образуют электрический ток пропорционально парциальному давлению кислорода, которое можно оценить с помощью подходящего преобразователя единиц измерения. Для предотвращения влияния интерференции при измерении, гальванические элементы Кларка покрыты газопроницаемой мембраной. Измерение полученного значения тока осуществлялось на высокоточном пикоамперметре. В экспериментах используется датчик H2100, имеющий наконечник

диаметром 110 мкм размещался вблизи катода, на расстояние менее 1 мм. До экспериментов датчик градуировался в двух точках - нулевая концентрация H_2 и 100% или 816 ммоль/л при 20 °С. Проведение измерений проводилось следующим образом. К ячейке поступал ряд импульсов индуктивного напряжения, затем регистрировались осциллограммы напряжения и тока. Параллельно проводился замер концентрации растворенного водорода [5].

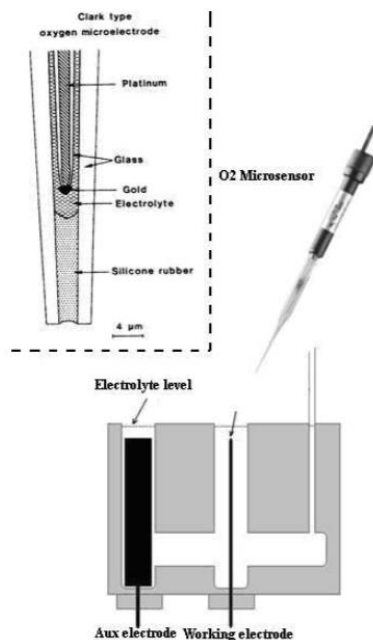


Рисунок 1.2.4. Схематичный изображение принципа измерения концентрации растворенного водорода.

Для изучения кинетики индуктивного импульсного электролиза в электролитах малой концентрации (рис. 1.2.5) была изготовлена ячейка из стеклянной чаши с двумя отдельными электродами. Были изготовлены держатели с винтами для электродов из проволоки из нержавеющей стали 316L (диаметр 2 мм, длина 100 мм). Перед каждым экспериментом проводили очистку по указанному выше методу.

В емкость ячейки заливали 350 мл деионизированной воды, далее в соответствие с экспериментом добавляли по одной капле соответствующего электролита (KOH , NaOH , LiOH , H_2SO_4), объем капли $0,05 \pm 10\%$ мл, измерение проводилось до 5 капель [5].

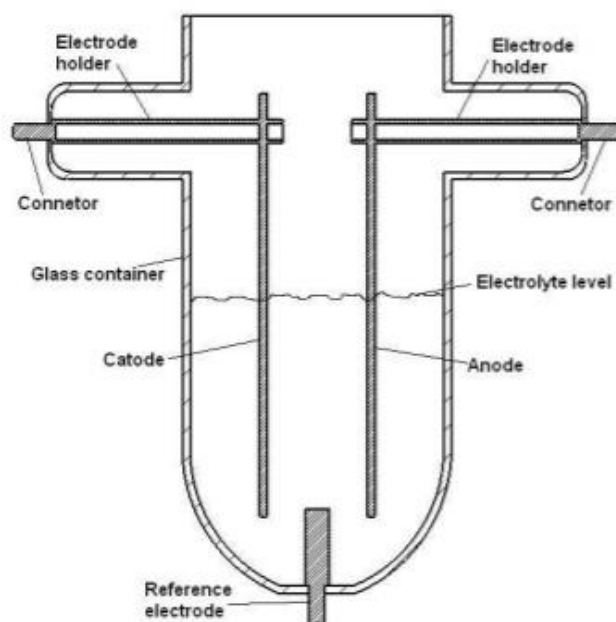


Рис. 1.2.5. Принципиальная схема ячейки для изучения кинетических свойств индуктивного электролиза

Полученные данные и осциллограммы обрабатывались и формировались единые графики и сравнительные таблицы. В них отражались средние значения тока и напряжения, а также производительность водорода в зависимости от концентраций, данные параметры были отражены в таблице 1.2.3.

На основании полученных данных был проведен теоретический расчет максимального тока, предполагая, что 2 электрона создают одну молекулу водорода. Также рассчитаны коэффициенты тока и энергоэффективности для протекающего процесса импульсного электролиза. В данном расчете принято, что первичная и вторичная обмотка трансформатора представляют собой две отдельные системы, но связанные по среднему значению тока действующему в ячейке. Расчет представлен в таблице 1.2.4 [5].

Таблица 1.2.3. Регистрируемые параметры импульсов в ячейке

KOH concentration [mol/kg]	Average value for current pulse [mA]	Average voltage value [V]	Current value calculated from mass of generated hydrogen [mA]	Hydrogen flow [cm ³ /min]
0.1	6.5	2.1	3.2	0.043
1	8	2.1	3.7	0.054
2	8.3	2.1	4	0.057
3	8.6	2.1	4.2	0.059

Таблица 1.2.4. Расчеты коэффициентов эффективности

KOH concentration [mol/kg]	Current efficiency coefficient [%]	Energy efficiency coefficient [%]
0.1	49	66
1	46	64
2	48	68
3	49	68

Для более точной оценки энергоэффективности была проведена корректировка полученных значений на потребляемые параметры от источника, данные представлены в таблице 1.2.5.

Таблица 1.2.5. Скорректированные параметры энергоэффективности

KOH concentration	Power supply voltage [V]	Average current value on the cell [mA]	Hydrogen flow [cm ³ /min]	Energy efficiency coefficient [%]
0.1	1.43	6.5	0.043	97
1	1.48	8	0.054	96
2	1.53	8.3	0.057	94
3	1.49	8.6	0.059	97

По полученным осциллограммам на рисунке 1.2.6 видно, что максимальная амплитуда импульса составляет 5.5 В, в растворе 0,1 М KOH, для стальных электродов при расстоянии между ними 5 мм, при этом происходит падение амплитуды до 3 В, при расстоянии 1 мм. В 0,3 М растворе максимальная амплитуда снижается до 3.5 В при расстоянии 5 мм, а падает до 2.6 В, при 1 мм. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к аналогичным процессам, расписанным выше. Также было замечено, что при увеличении концентрации происходит увеличение времени разряда ячейки после импульса. Это указывает на создание более высокого заряд в ячейке [5].

Исследователями был сделан вывод о том, что увеличение расстояния между электродами приводит к увеличению амплитуды импульсов, но при этом происходит снижение тока. Концентрация растворов приводит к обратному эффекту, в связи с повышением электропроводности среды электролита.

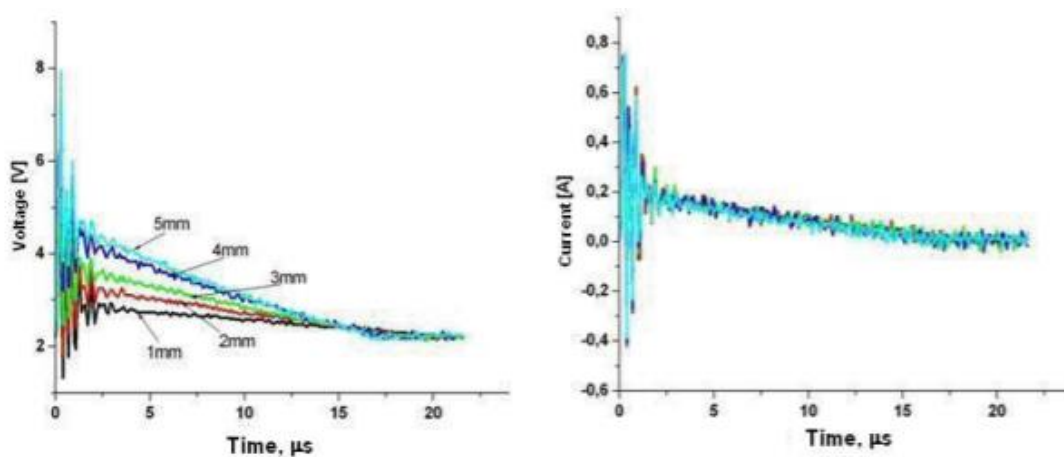


Рис. 1.2.6. Осциллограммы напряжения и тока в растворе 0,1 М КОН.

Учитывая, что амплитуда импульса зависит от добротности резонансного контура, становится ясно, что конденсатор, в качестве которого выступают электроды с электролитом между ними, будет иметь значительно больший ток утечки при больших концентрациях электролита. Часть осциллограммы, на которых происходит разряд ячейки показывает, что происходит разряд запасенной энергии в электрическом поле конденсатора, т.е. преобразование энергий. Поэтому чем выше изначальный потенциал в импульсе, тем выше амплитуда напряжения в процессе разряда, а соответственно больший ток, который будет способствовать повышению производительности ячейки [5].

Проведенные эксперименты с электродами из вольфрама и платины показали, что при одинаковых концентрациях электролита имеют одинаковый характер импульсов. Для проведения оценочного сравнения значения импульсного напряжения и тока были перемножены на повышающий коэффициент результаты приведены в таблице 1.2.6.

Снятые осциллограммы были оставлены в изначальном масштабе, для лучшей оценки фазового сдвига. Они представлены на рисунке 1.2.8. В ходе изучения представленных графиков существенных различий между параметрами для вольфрама и платины не было выявлено [5].

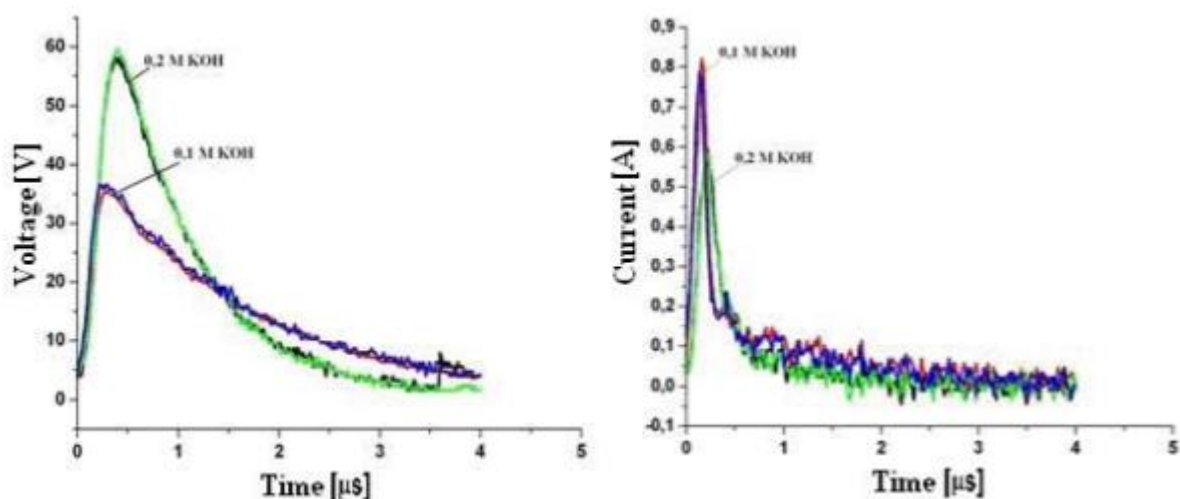


Рис. 1.2.7. Осциллограммы напряжения и тока для Pt и W (Pt - черный и синий, W – зеленый и соответственно красный) при различных концентрациях электролита.

Таблица 1.2.6. Рассчитанная энергия, потребляемая ячейкой из данных осциллограмм

Electrode material and solution concentration	Energy, mJ
Pt in 0.1M KOH solution	8.5
Pt in 0.2M KOH solution	7.7
W in 0.1M KOH solution	8.2
W in 0.2M KOH solution	7.6

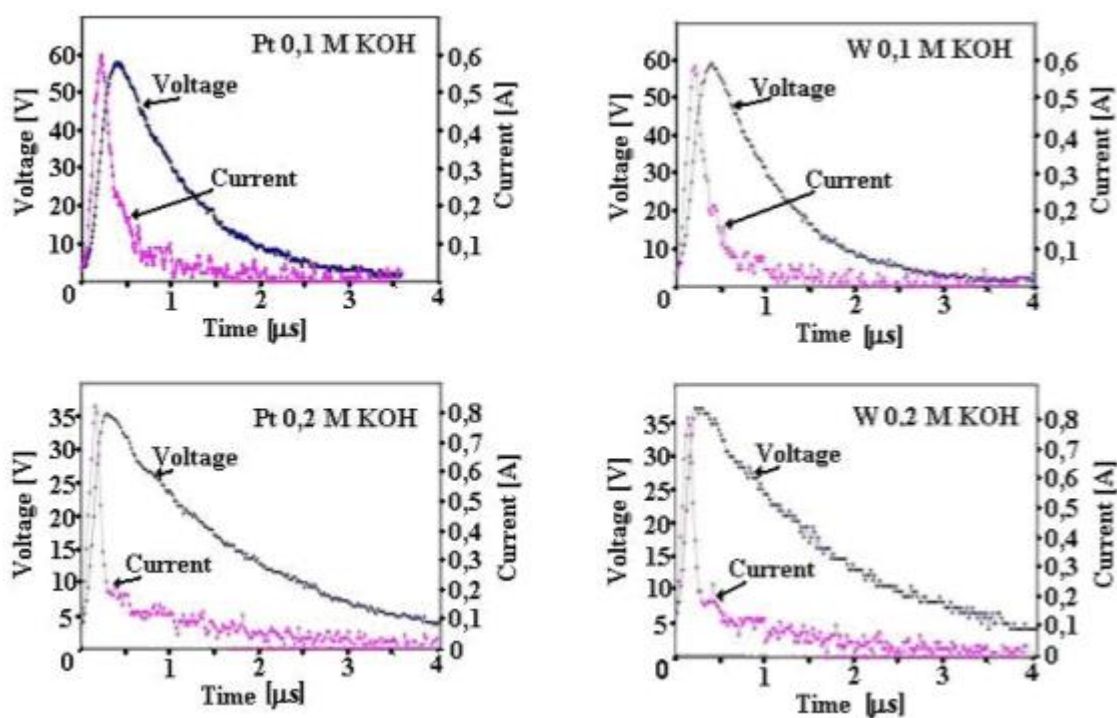


Рис. 1.2.8. Отдельные осциллограммы импульсов напряжения и токов для электродов из Pt и W в растворах 0,1 М и 0,2 М KOH

Проведение измерения концентрации растворенного водорода проводилось для каждого эксперимента в течении 100 с, график представлен на рисунке 1.2.9.

В каждом эксперименте с датчиком для измерения концентрации растворенного водорода время измерения длилось 100 с (рисунок 1.2.9). Из полученных графиков видно, что кривым с большим содержанием водорода соответствуют электролиты с высокой концентрацией. Так же показатели вольфрамовых электродов, оказались выше платиновых, при тех же значениях концентраций электролитов. [5].

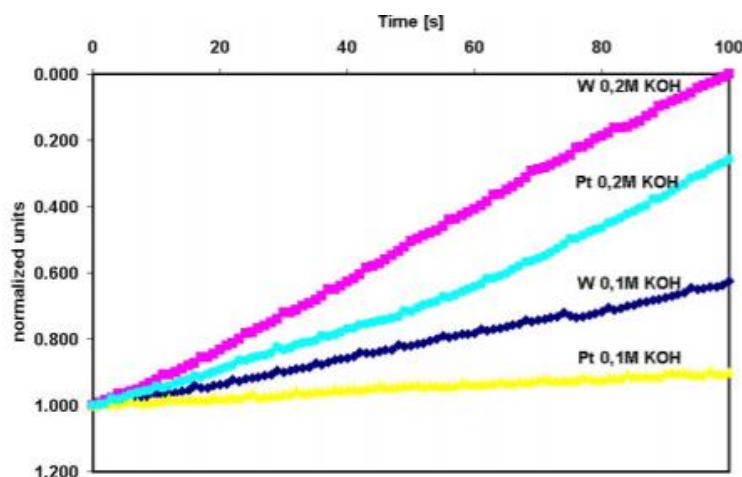


Рис. 1.2.9. График измерения концентрации растворенного водорода вблизи катода

Из полученного графика, видно, что наибольшее содержание водорода присуще электролитам с большей концентрацией, а также для вольфрамовых электродов.

Большая концентрация водорода для вольфрамового электрода объясняется вольтамперными характеристиками материалов, представленных на рисунке 1.2.10. Из них видно, что для платиновых электродов характерна адсорбция, поглощение водорода пик соответствует потенциалу -0,5 В, но не для вольфрама.

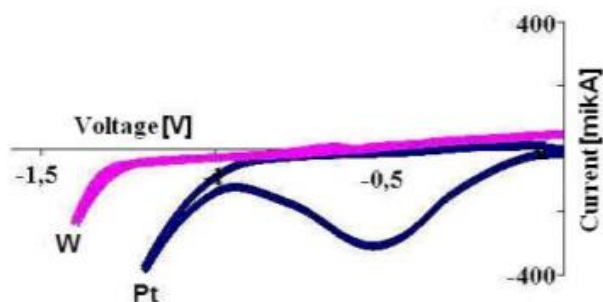


Рис. 1.2.10. Вольтамперные характеристики для платиновых и вольфрамовых электродов в 0,1 М растворе KOH, измеренная в двух конфигурациях электрода при скорости сканирования 10 мВ / с.

Интегрирование импульсов напряжения и тока показывает, что при той же концентрации электролита, для вольфрама и платины, показатели будут равны. Присутствие зависимости снижения энергии импульса, во время роста концентрации раствора, указывает на уменьшение реактивной составляющей системы. Это является причиной уменьшения фазового сдвига в растворах большей концентрации.

У вольфрамового электрода отсутствует пик адсорбции, в отличие от платины, в связи с этим в его области в процессе разряда датчик регистрирует увеличение концентрации водорода, что указывает на переход электронов с поверхностного слоя металла на протекание реакции диссоциации воды [5].

Рост амплитуды импульсов напряжения одинаков для различных концентраций раствора КОН рис. 1.2.11, в то время как процесс разряда после - разный. Амплитуда максимальна в деионизированной воде, при увеличении концентраций электролита происходит ее снижение, параллельно с этим увеличивается время разрядного тока в системе.

Снятые осциллограммы на рисунке 1.2.12 отражают процесс разряда после импульса, при различных концентрациях электролита. Увеличивая, концентрация раствора до 1 мМ, происходит переход импульса из положительной области в отрицательную, при этом процесса разряда почти не наблюдается. Дальнейшее увеличение концентрации электролита приводит к отсутствию отрицательного значения тока разряда. Он продолжает оставаться положительным и увеличивается, что указывает на то, что заряд вводится в замкнутый контур.

Увеличение концентрации раствора не меняет форму импульса тока, это показано на рис. 1.2.12. Когда концентрация электролита увеличивается, наблюдается пиковое падение напряжения, рис.1.2.13. Ее уменьшение происходит экспоненциально, и стабилизируется вокруг значения от 9 В для растворов электролитов, тогда как в деионизированной воде это значение превышает 600 В. Эти кривые почти совпадают в разных щелочных растворах, тогда как в серной кислоте снижение амплитуды происходит значительно быстрее [5].

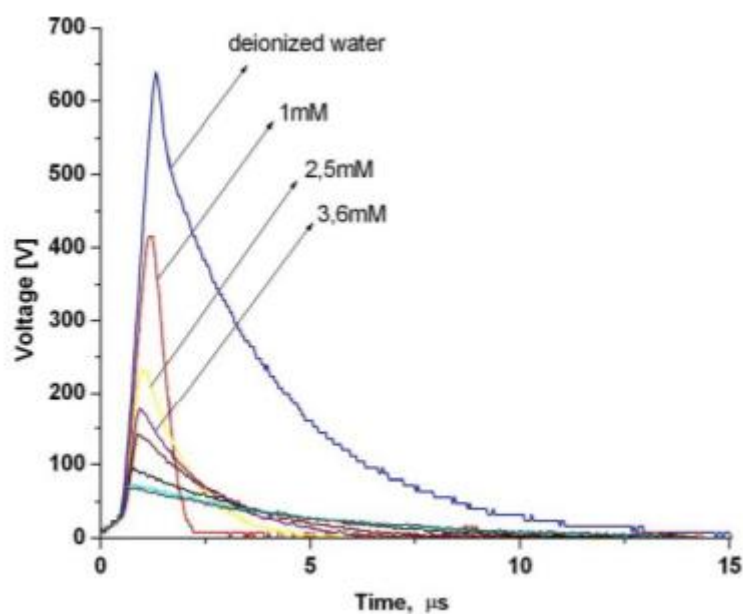


Рис. 1.2.11. Осциллограммы импульсов напряжения индуктивного разряда с различными концентрациями КОН.

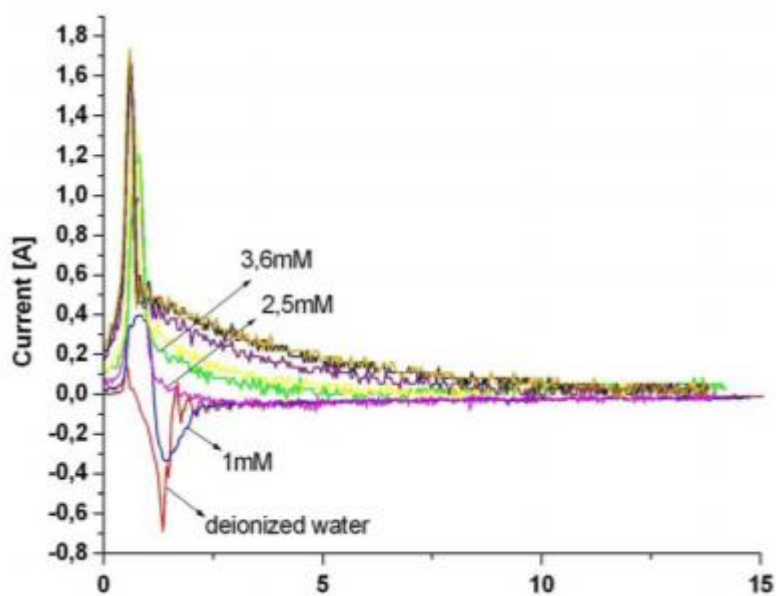


Рис. 1.2.12. Осциллограммы импульсов тока, создаваемые импульсами индуктивного напряжения на ячейке с различными концентрациями

В растворе КОН импульсный заряд увеличивается с увеличением концентрации электролита и, как правило, происходит насыщение при некотором значении, рисунок 1.2.14 [5].

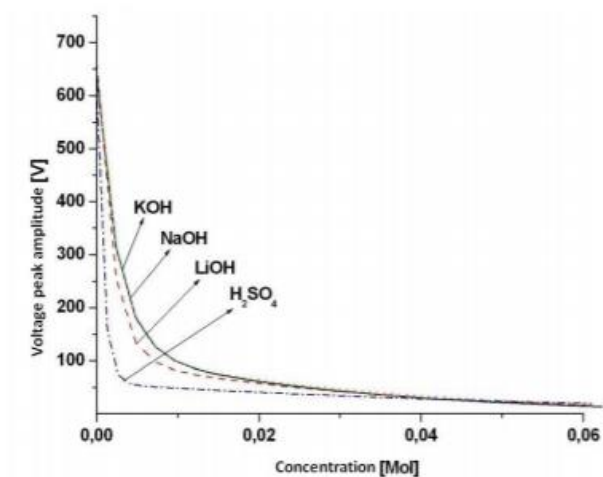


Рис. 1.2.13. График уменьшение амплитуды импульса напряжения с увеличением концентрации электролита

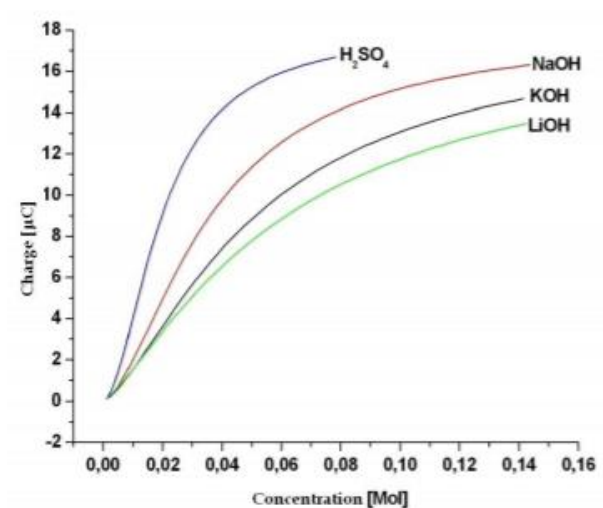
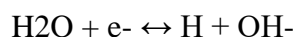


Рис. 1.2.14. График изменение импульсного заряда в различных растворах с увеличением концентрация электролита

В кислотных растворах поведение заряда почти идентично как для щелочных. В ячейке с раствором серной кислоты увеличение заряда происходит быстрее. Относительно возникновения отрицательных токов, выдвинута следующая гипотеза. Изменения импульсов напряжения демонстрируют, что вокруг электрода появляется плотный пространственный заряд, т. е. быстро растущее напряжение в двухэлектродной системе, приводит к освобождению электронов из катодной среды. Поскольку концентрация ионов в деионизированной воде мала (молярная концентрация H_2O^+ составляет порядка 10^{-7} М), то, вероятнее всего, испускаемые электроны сольватируются между полярными молекулами воды и будут прикрепляться к нейтральным молекулам воды, которая описывается следующей реакцией гидратации [5]:



Если OH^- ионы и сольватированные электроны не удастся разрядить на катоде, то вокруг катода появляется пространственный заряд. В случае его возникновения вероятно, что электроны вернутся в металл. Если донором электронов является OH^- ион, то на катоде должна появиться эволюция кислорода.

Согласно экспериментальной схеме, такие электроны возвращаются в металл в больших количествах, что приводило бы к появлению отрицательных импульсов тока, но это невозможно, поскольку данная составляющая блокируется диодом, включенным в схему. Для проверки данного эффекта после диода был установлен индуктивный элемент малой величины. Это необходимо для проверки процесса сольватирования. Электроны разряжались ионами электролита, и происходило снижение отрицательного импульса тока. Для подтверждения данной гипотезы проводился опыт по определению наличия кислорода вблизи катода.

График концентрации растворенного кислорода вблизи катода представлен на рисунке 1.2.15. В течение первых 60 секунд импульсный ток имеет явный отрицательный пик в контуре. Через 60 секунд был включен генератор управления и отрицательным пик тока исчез. Из рисунка 1.2.15 видно, возникновение пика отрицательного тока, при этом на катоде начинает вырабатываться кислород, но, когда данный импульс исчезает, кислород более не генерируется и концентрация уменьшается [5].

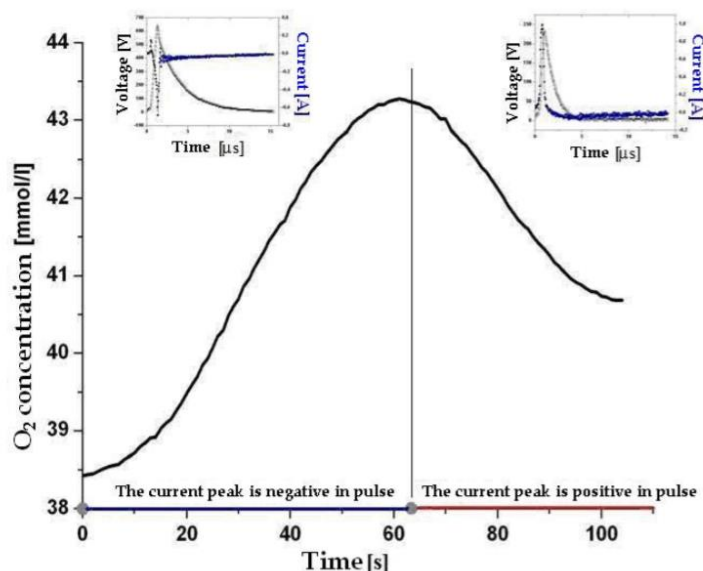


Рис. 1.2.15. График концентрации растворенного кислорода вблизи катода в двух режимах импульсного генератора – когда (слева, концентрация растворенного кислорода увеличивается) и положительная (справа, концентрация растворенного кислорода уменьшается).

По изученной тематике учеными был сделан ряд выводов.

Реактивный генератор импульсов напряжения может использоваться для электролизных устройств различных конструкции, как с пространственным разделением, так и с переменным расстоянием электродов.

Требуемое значение напряжения электролиза в первичной цепи источника питания может быть уменьшено путем вставки электролизера во вторичную цепь источника питания вместе с индуктивным элементом и обратным диодом. В данной работе на первичную обмотку трансформатора подавался прямоугольный импульс амплитудой 1 В, который индуцирует короткий импульс высокого напряжения (десятки, сотни вольт, в зависимости от электропроводности электролита) во вторичном цепи.

Авторы отмечают, что для изучения процесса электролиза используемые ими датчики для измерения концентрации растворенного водорода и газообразного кислорода в непосредственной близости от катода, использовались впервые.

Изменяя расстояние между электродами и концентрацию электролита, экспериментально доказано, что электролизер представляет собой конденсатор с высоким коэффициентом добротности при коротком замыкании (ширина ниже 1 мкс). За это короткое время конденсатор, который может быть интерпретирован как объект заряда двух сред электролит/катод. После прерывания импульса напряжения энергия, накопленная в слоях конденсатора, медленно разряжается, тем самым активируя процесс электролиза. Следовательно, показано, что при коротком импульсном электролизе напряжения зарядка ячейки может быть отделена от электрохимических реакций в процессе электролиза.

Свойства заряда электролизной ячейки реактивными высоковольтными короткими импульсами не зависит от концентрации электролита, тогда как последующий длительный разряд зависит от нее (быстрее в разбавленных растворах, медленнее в более концентрированных растворах). Если концентрация электролита в ячейке более 3 мМ, энергия импульса реактивного напряжения не зависит от концентрации.

Наблюдаемый на осциллограммах переход от катодного тока в анодный происходит в течение короткого времени после снятия импульса, после происходит переход в катодный ток [5].

Измерение концентрации растворенного кислорода с помощью датчика в непосредственной близости от катода показывает, что концентрация кислорода возрастает при

наличие анодного тока, для борьбы с данным явлением следует проводить расчет необходимого блокирующего диода.

Была выдвинута гипотеза того, что высоковольтный импульс вызывает эмиссию электронов от катодного металла в электролит, где сначала электроны сольватируют, затем диссоциирует молекулу воды образуя атомы Н и ОН- ионы. Следующий образующийся ОН-ион может разряжаться на катоде в тот момент, когда приложенный импульс напряжения уменьшает, обеспечивая высвобождение кислорода, обнаруженного датчиком.

Ученым удалось добиться энергетической эффективности при импульсном реактивном электролизе, находящейся в диапазоне 70-100%.

Полученные результаты для различных материалов электродов показали, что для импульсного электролиза предпочтительно использовать вольфрамовые проводники, т.к. платиновые электроды имеют свойство адсорбции водорода на поверхности. [5].

В статье «Review of pulsed power for efficient hydrogen production», выпущенная в 2016 г., приведен обзор по тематике работы. Данные, рассмотренные в нем по большей части повторяют информацию из источников, рассмотренных ранее. Для авторов ставилась задача изучить результаты исследований, которые уже были проведены, об этом они пишут в выводе своей работы [8]. Остальные статьи, которые были найдены по данной тематике так же повторяют результаты, полученные в статье ученых из Индии.

1.3. Выводы по обзору литературы

Основное преимущество электролизеров, работа которых основана на импульсном напряжении, заключается не только в их энергетической эффективности, но и непосредственной выработке водорода. Их разработка является перспективным направлением для установок моментального потребления. Эффективность установки в промышленных масштабах на текущий момент не ясна, хотя Стенли писал в своей книге, что его устройство может спокойно обеспечивать ракеты топливом, при чем мощность таких установок позволит проводить межгалактические полеты.

Главное отличие технологий, предложенных Майером и группой ученых (Мартин Ванагс, Янис Клеперис и Гунарс Баярс) это используемые электроды. Об этом авторы статей не упоминали, но вероятней всего их форма сильно влияет на формируемое электростатическое поле. Стенли использовал цилиндрические трубы, а исследователи

пластины. Так же можно выдвинуть гипотезу о влиянии формы электрического разряда на эффективность электролиза.

Результаты экспериментов дают возможность экономить время, т.к. они показывают влияние концентраций растворов, расстояний между пластинами, на процесс. Это позволяет отложить исследование этих факторов и воспользовавшись полученными данными, спроектировать тестовую установку с уже наиболее оптимальными параметрами. Но будут ли они справедливы для электродов цилиндрической формы?

На данный момент получено КПД установок импульсного электролиза, превышающее 70%, что является очень хорошим показателем.

2. Экспериментальная часть

2.1. Эксперименты по выявлению основных параметров для изготовления экспериментальной установки

Эксперимент №1

По теме: оценка влияния расстояния, величины тока и площади электродов на производительность электролизера

Задача: провести исследования влияния на производительность следующих факторов: величина тока, расстояние между электродами, площадь электродов.

Оборудование: ЛАТР, диодный мост, проводники, мерная пробирка, вода.

- Вода холодная, бытовая;
- Электроды медные.

Эксперимент проводился по представленной электрической схеме на рисунке 2.1.1 и принципиальной схеме сбора сгенерированного водорода на рисунке 2.1.2, так же на рисунке 2.1.3. представлена фотография схемы в сборе в лабораторных условиях.

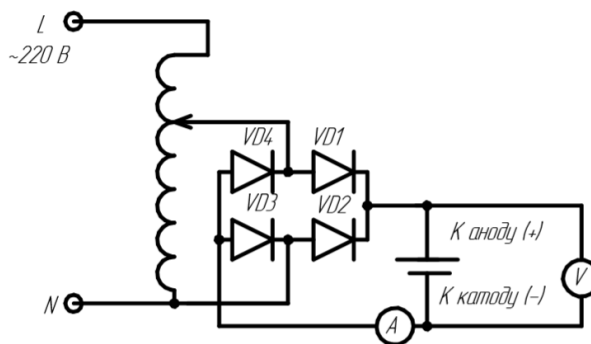


Рис. 2.1.1. Электрическая схема установки

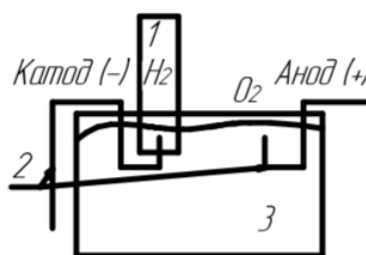


Рис. 2.1.2. Принципиальная схема сбора сгенерированного водорода

На данной схеме 1 – измерительная пробирка для сбора и измерения полученного объема газа, 2 – электроды в исполнение проволок, 3 – емкость, наполненная водой. Замер полученного водорода проводили методом вытеснения воды из пробирки.



Рис. 2.1.3. Лабораторная установка для эксперимента №1

В измерении №1 проводилась оценка влияния величины тока на вырабатываемый объем водорода. Расстояние между электродами $l=10$ мм, площадь сечения $0,2$ мм². Отсчет времени проводилось до получения 1 см³ H₂. Энергия сгорания этого объема равна 11.674 Дж. Плотность водорода принята $0,0898$ кг/м³. Удельная теплота сгорания 130 МДж/кг. Результаты измерений для генерации 1 см³ водорода представлены в таблице 2.1.1

Таблица 2.1.1. Результаты измерения №1

Ток I, мА	10	20	30
Напряжение U, В	47,2	92	148
Время t, мин	9,34	6,2	3,5
Лин. Коэф. K1	1,51	1,77	
Лин. Коэф. K2	2,67		
Мощность P, Вт	0,472	1,84	4,44
Потреб. Энергия J, Дж	264,5	684,48	932,4
КПД	0,044	0,017	0,013

Пример расчета для первого столбца:

$$P = I \cdot U = 0.01 \cdot 47.2 = 0.472 \text{ Вт};$$

$$J = P \cdot t = 0.472 \cdot 9.34 \cdot 60 = 264.5 \text{ Дж};$$

$$\text{КПД} = \frac{\text{Энергия сгор. } H^2}{J} = \frac{11.674}{264.5} = 0.044;$$

По полученным данным из таблицы 2.1.1, построен график зависимости наполнения 1 см³ водородом от протекающего тока в цепи, представленный на рисунке 2.1.4.

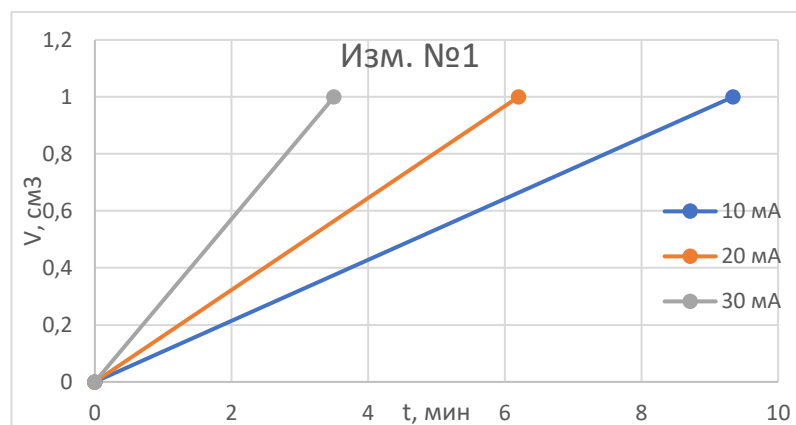


Рис. 2.1.4. График генерации водорода при l=10 мм

По полученному графику можно сделать вывод о том, что увеличение производительности зависит линейно от тока, протекающего через электроды. Полученный КПД так же не учитывает потерь в приборах преобразования электрической энергии. Нельзя исключать случайную погрешность, т.к. замер происходил по аналоговым приборам.

Дальнейшие измерения проводились с целью выявления расстояния на производительность

В измерении №2 проводилось измерения при $l=20$ мм. Результаты измерения для генерации 1 см^3 водорода приведены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2. Результаты измерения №2

Ток, мА	10	20	30
Напряжение, В	58	122	170
Время t, мин	9,42	6,25	3,75
Лин. Коэф. K1	1,5072	1,6666667	
Лин. Коэф. K2	2,512		
Мощность, Вт	0,58	2,44	5,1
Потреб. Энергия, Дж	327,816	915	1147,5
КПД	0,035611	0,0127585	0,010173

По полученным расчетным данным был построен график на рисунке 2.1.5.

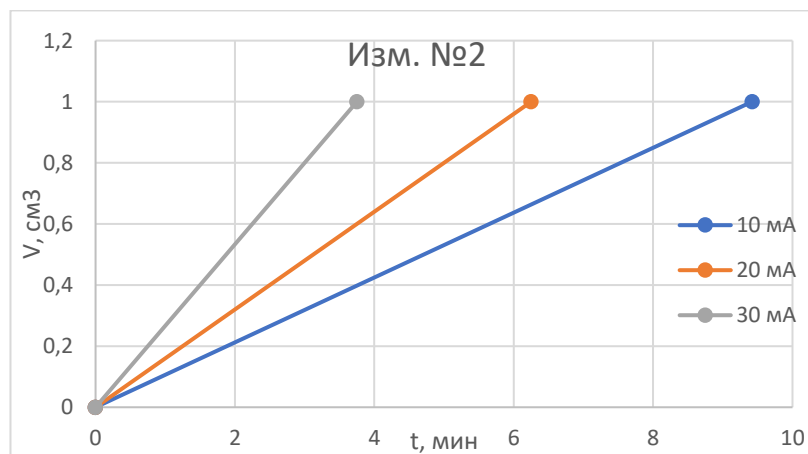


Рис. 2.1.5. График генерации водорода при $l=20$ мм

По данному измерению можно сделать вывод о том, что увеличение расстояния между электродами приводит к уменьшению производительности. Относительно измерений 1 и 2 это уменьшение составляет примерно 1%.

В третьем измерение проводилась оценка влияния площади сечения электродов при пятикратном увеличении площади сечения электродов, результаты измерения для генерации 1 см^3 водорода приведены в таблице 2.1.3.

Таблица 2.1.3. Результаты измерения №3

Ток, мА	10	20
Напряжение, В	84	163
Время t, мин	9,67	6,17
Лин. Коэф. K1	1,567261	
Мощность, Вт	0,84	3,26
Потреб. Энергия, Дж	504	3912
КПД	0,023163	0,0029842

По полученным расчетным данным был построен график на рисунке 2.1.6.

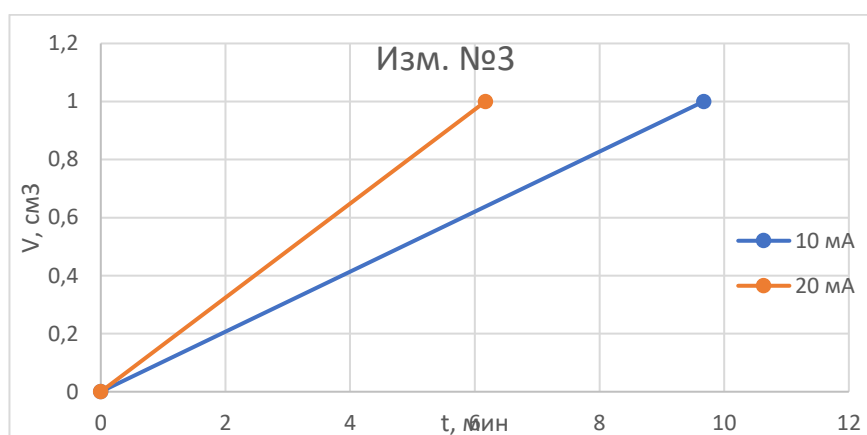


Рис. 2.1.6. График генерации водорода при $S_{сеч}=2,5 \text{ мм}^2$

Как видно из полученных данных производительность почти не меняется, но значительно выросли потери.

Выводы по эксперименту №1:

В ходе эксперимента было установлено, что на процесс электролиза:

- Величина тока влияет линейно;
- Увеличение расстояния приводит к снижению производительности;
- Увеличение площади сечения не влияет на производительность, но увеличение сечения позволяет передавать больший ток через электроды. При недогрузке таких электродов возрастают потери.

КПД лабораторного электролизера по расчетам составляет не более 4.4%.

Эксперимент №2

По теме: оценка влияние установки пластиковой перегородки для физического разделения газов

Задача: провести исследования влияния установки перегородки между коаксиальными электродами при процессе электролиза.

Оборудование: источник DC 12 В, стальные электроды ВГП $\frac{1}{2}$ '' и $\frac{3}{4}$ '', вода.

В процессе электролиза воды создается «гремучая смесь» $2\text{H}^2 + \text{O}_2$, что является взрывоопасной смесью с минимальной энергией зажигания, т.к. генерируемая смесь находится в стехиометрических пропорциях. В связи с этим для обеспечения безопасности следует проводить разделение газов, это возможно с помощью ионных мембран, либо физического разделения катода и анода, но для коаксиальных электродов данный меры труднореализуемы, поэтому был проведен эксперимент с пластиковой трубой для разделения сред газов, результаты приведены далее. В данном эксперименте применялась электрическая схема как на рисунке 2.1.1.

Измерение №1 проводилось без установки перегородки для получения исходного тока между электродами. Результаты всех измерений сведены в таблице 1. Так же было выявлено, что образование газа происходило только между электродами на границе раздела сред, с наружной стороны катода пузырьков газа почти не было.

Измерение №2 проводилось с установкой перегородки и следующими условиями расположения электродов по отношению к ней $x=8$ мм, $y=5$ мм, это схематично показано на рис. 2.1.7.

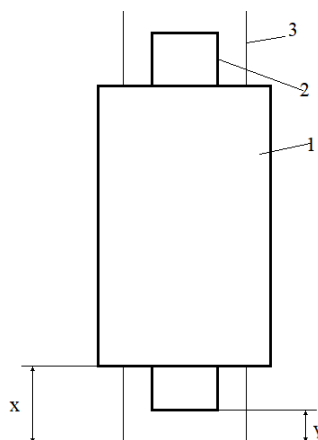


Рис. 2.1.7. Схематическое изображение электродов и перегородки, где 1 – катод, 2 – анод, 3 – пластиковая перегородка, x , y – указанные расстояния

Измерение №3 проведено так же с перегородкой, $x=0$ мм, $y=0$ мм.

В связи с чрезвычайно малыми токами было принято решение сделать отверстия диаметром 1 мм по площади перегородки ~ равной внутренней стороне катода рис. 2.1.8. Это сделано в условиях выдвижения теории о том, что через отверстия такого диаметра ток сможет беспрепятственно проходить от анода к катоду, но при этом смещения газов происходить не будет.



Рис. 2.1.8. Перегородка после переработки

Измерение №4 с новой перегородкой $x=10$ мм, $y=0$ мм, приведено в табл. 2.1.4.

Измерение №5 при $x=0$ мм, $y=0$ мм.

Таблица 2.1.4. Результаты измерений

№	I, А
1	1,2
2	0,001
3	0,05
4	0,1
5	0,2

Вывод по эксперименту №2: в ходе эксперимента было выявлено, что перегородка из пластика, для физического разделения водорода и кислорода в процессе электролиза абсолютно не подходит.

Результаты измерений показывают, что установка пластиковой перегородки сильно снижает пропускную способность тока и многократно снижает ток системы. Это может быть связано с тем, что электроны скапливаются именно на этой трубке, и только малая часть попадает на катод.

В различных источниках сети интернета сказано, что можно использовать стекло, асбестовую ткань для подобных устройств. В связи с высокими ценами на реализацию

подобных решений, было принято решение работать без разделительной перегородки. В дальнейшем, при подсчете технико-экономических параметров, учитывается, что производимый объем газов будет находится в соотношении 2:1. Для обеспечения безопасности эксплуатации при таких условиях генерации газа, требуется провести ряд мероприятий о которых будет указано далее.

Эксперимент №3

По теме: оценка влияния формы электродов на эффективность электролиза

Задача: провести оценку производительности электролиза при использовании электродов пластинчатой и коаксиальной формы.

Оборудование: источник 12 В, электроды: пластинчатые, коаксиальные.

- Материал электродов: алюминий, площадь поверхности $S = 7.85 \text{ мкм}^2$.

Применение коаксиальных электродов значительно усложняет реализацию водородной ячейки, в связи с этим проведен эксперимент по оценке эффективности данного форм фактора. В данном эксперименте применялась электрическая схема как на рисунке 2.1.1.

Для его эксперимента были изготовлены электроды, каждый из которых имел равную площадь, указанную выше. Далее они помещались в стеклянную измерительную трубку, объем выделившегося газа измерялся по столбу вытесняемой воды. Ток измерялся с помощью мультиметра, напряжение постоянно и равно 12 В. В таблице 2.1.5 приведены измеренные и расчетные величины.

Таблица 2.1.5. Экспериментальные и расчетные данные

Коаксиальные			
№ измерения	1	2	3
Ток, А	0,795	0,885	0,775
Время, с	53	41	60
Высота водяного столба, мм	96	89	120
Мощность, Вт	9,54	10,62	9,3
Потреб. Энергия, Дж	505,62	435,42	558
Объем выд. Грем газа, м ³	0,00000754	0,00000699	0,00000942
Объем выд. Н ₂ , м ³	0,00000502	0,00000466	0,00000628

Масса Н ₂ , кг	0,00000045	0,00000042	0,00000056
Энергия сгорания Н ₂	58,65	54,37	73,31
КПД по Н ₂	0,12	0,12	0,13
Производительность, л/мин	0,006	0,007	0,006
Пластинчатые			
№ измерения	1	2	3
Ток, А	0,35	0,29	0,3
Время, с	60	38	40
Высота водяного столба, мм	50	40	48
Мощность, Вт	4,2	3,48	3,6
Потреб. Энергия, Дж	252	132,24	144
Объем выд. Грем газа, м ³	0,00000393	0,00000314	0,00000377
Объем выд. Н ₂ , м ³	0,00000262	0,00000209	0,00000251
Масса Н ₂ , кг	0,00000023	0,00000019	0,00000023
Энергия сгорания Н ₂	30,55	24,44	29,33
КПД по Н ₂	0,12	0,18	0,20
Производительность, л/мин	0,003	0,003	0,004

Вывод по эксперименту №3: исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что коаксиальные электроды имеют двукратный прирост производительности при сравнительно равном КПД. Проблема заключается в сложности такой сборки. Генерирование гремучего газа не является проблемой. Он имеет температуру самовозгорания 510 градусов при н.у. Установка, установленная в помещениях без повышенных температур или на улице, не должна самопроизвольно детонировать. Не стоит забывать, о том, что водород в любом случае является самым летучим веществом на Земле, и при нарушении ТБ он в любом случае взорвется, с выделением большого количества энергии, это связано с широким диапазоном взрывоопасной концентраций от 5 до 95% содержания в воздухе.

В ходе данного эксперимента использовалась коаксиальная система, в которой расстояние между внешним диаметром внутренней и наружным диаметров наружной трубы составило 1 мм. В процессе электролиза было замечено, что происходит образование пены, которая застревает в данном объеме, создавая тем самым зону в котором протекание реакции отсутствует, что так же значительно снижает производительность ячейки в целом. Была закуплена внешняя трубка большего диаметра, при этом расстояние между ними стало 2 мм.

На данном расстоянии такого эффекта не наблюдалось, все производные реакции свободно поднимались вверх, поэтому данный зазор принят за эталон.

В связи с вышеизложенными выводами было принято решение создавать экспериментальную ячейку с коаксиальными электродами, т.к. показатель производительности значим для переносных приборов, а также для промышленности в целом.

2.2. Выводы по экспериментальной части:

Для реализации экспериментальной ячейки, работающей на импульсном напряжении, потребуются коаксиальные электроды из стали 310/316L, либо вольфрама, данные материалы устойчивы к коррозии и химически активным средам. Данное решение даст возможность работать установке в долгосрочном режиме, без проведения внеплановых чисток.

По изученной статье, предпочтение при реализации стоит отдавать вольфрамовым электродам в связи с отсутствием адсорбционных пиков.

В ходе проведенных экспериментов было выявлено, что оптимальное расстояние между электродами должно составлять 2 мм.

Коаксиальные электроды обеспечивают большую производительность ~ в 2 раза больше, чем у пластинчатых, одним из объяснений данного явления может быть, лучшая эффективность распространения электромагнитного поля.

3. Изготовление ячейки

3.1. Принципиальное устройство ячейки

Как уже упоминалось ранее, водородная ячейка будет генерировать «гремучий» газ. Для безопасной работы с таким устройством требуется установка дополнительных устройств. На рисунке 3.1.1 приведено устройство ячейки, которая пригодна для проведения замеров по производительности ячейки и отработки электрической схемы.

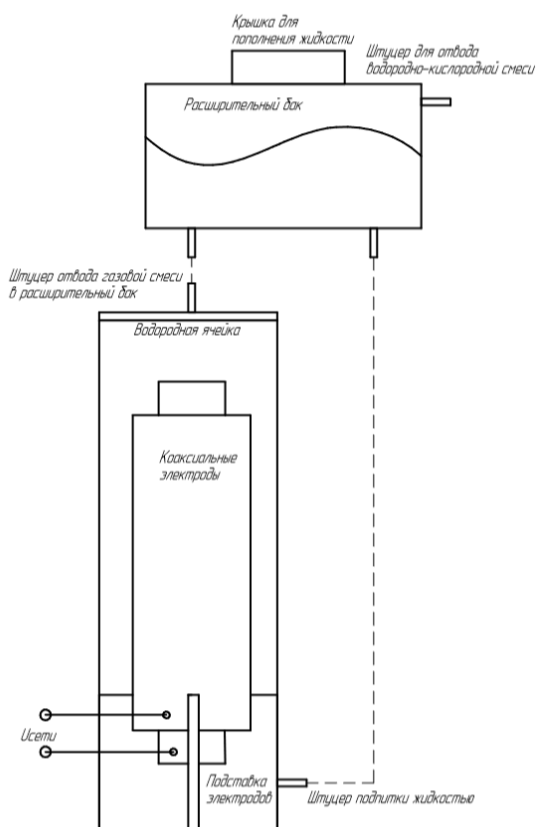


Рис. 3.1.1. Принципиальное устройство ячейки

Установка расширительного бака, для обеспечения циркуляции воды и пены в процессе получения гремучей смеси, емкость заполняется водой, стравливается весь воздух из системы, и происходит постоянная циркуляция воды по ячейке за счет установки в нижней части штуцера подпитки. Крышка на расширительном баке позволяет пополнять воду в процессе работы.

Питающие кабели заведены через корпус ячейки, заклеены и за герметизированы. Оставлен запас по длине для возможности выемки электродов для чистки.

Изготовлена герметичная крышка с отверстием под один штуцер М10, для вывода генерируемого газа, в расширительный бак, через слой воды. Это обеспечивает первое условие

безопасности для электролизных установок, а именно ограждение ячейки от прямого пламени в случае возгорания газа.

Данная ячейка позволит проводить замеры производительности по методу вытеснения воды, установив дополнительную емкость, но для реального использования, например, для работы газовой горелки, необходимо обеспечить ряд обязательных условий, а именно огнепреградительный клапан, расположенный как можно ближе к рабочей области горелки, проведена проверка герметичности устройства в целом, а также проверка на работу при создаваемом ячейкой давлении. Данных мероприятий достаточно для безопасного использования прибора в качестве газопламенного устройства.

3.2. Электрическая схема

В настоящей работе принято к исследованию упрощенная электрическая схема импульсного напряжения, для проведения первичной количественной оценки повышения показателей, для обоснования дальнейшего исследования и финансирования со стороны заинтересованных лиц.

Конкретно в данном случае не используется повышающий высокочастотный трансформатор, дроссели для создания резонанса напряжений, блокирующий диод анодного тока, данные комплектующие при дальнейшем исследовании, позволят достичь поляризационного электролиза, описанного в разделе 1.1.

Принципиальная схема генерации импульсного напряжения постоянного тока, представлена на рисунке 3.2.1.

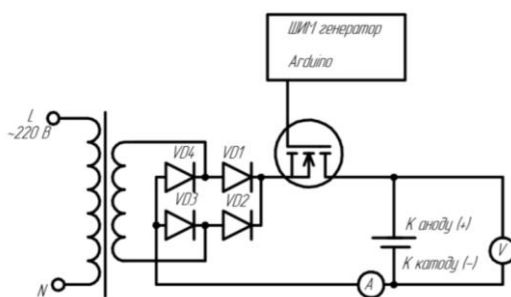


Рис. 3.2.1. Электрическая схема для процесса импульсного электролиза. Состоит из источника AC 220 В; понижающего трансформатора с $K_{тр}=18$; С – фильтра; MOSFET транзистора для преобразования DC/DC; в качестве системы управления плата управления Arduino Uno

Arduino выбрано как управляющее устройство из за простоты программирования и возможностью работать с частотами до 62.5 кГц, но т.к. MOSFET транзистор рассчитан до 20 кГц, ограничимся данной частотой.

Для задания частоты и скважности задается ШИМ сигнал MOSFET транзистору в среде программы Arduino составлена следующая программа:

```
Int pwm;

Void setup() {

}

Void loop() {

Pwm=analogRead(0);

Pwm=map(pwm,0,1023,0,255);

Pwm=constrain(pwm,0,255);

analogWrite(3,pwm);

}
```

Данная часть программы отвечает за скважность ШИМ сигнала, но частоту в Arduino можно задать упрощенно, задав изначальные значения в соответствии с таблицей 3.2.1, в которой приведены стандартные функции для изменения частоты на ту или иную величину.

Таблица 3.2.1. Необходимые программные строки для задания определенных частот

Разрешение	Частота ШИМ	Команды установки режима
8 бит	62 500 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x09;
	7 812,5 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0a;
	976,56 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0b;
	244,14 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0c;

	61,04 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0d;
9 бит	31 250 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x09;
	3 906,25 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0a;
	488,28 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0b;
	122,07 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0c;
	30,52 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0d;
10 бит	1 5625 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x09;
	1 953,13 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0a;
	244,14 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0b;
	61,04 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0c;
	15,26 Гц	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0d;

Благодаря этой таблице будет проведено исследования влияния частоты импульсов и амплитуды напряжения и подобрано оптимальное значение.

Например, необходима частота 1953,13 Гц, с величиной амплитуды напряжения 50% от исходного, тогда в среду Arduino запишется

```
Int pwm;
```

```
Void setup() {
```

```

TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 | 3;

TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 | 0x0a;

pinMode(9, OUTPUT);

analogWrite(9,1023)

}

Void loop() {

Pwm=analogRead(0);

Pwm=map(pwm,0,1023,0,255);

Pwm=constrain(pwm,0,255);

analogWrite(9,126);

}

```

На рисунке 3.2.2 приведена осциллограмма формируемого напряжения на выходе транзистора при частоте 3906,25 Гц.

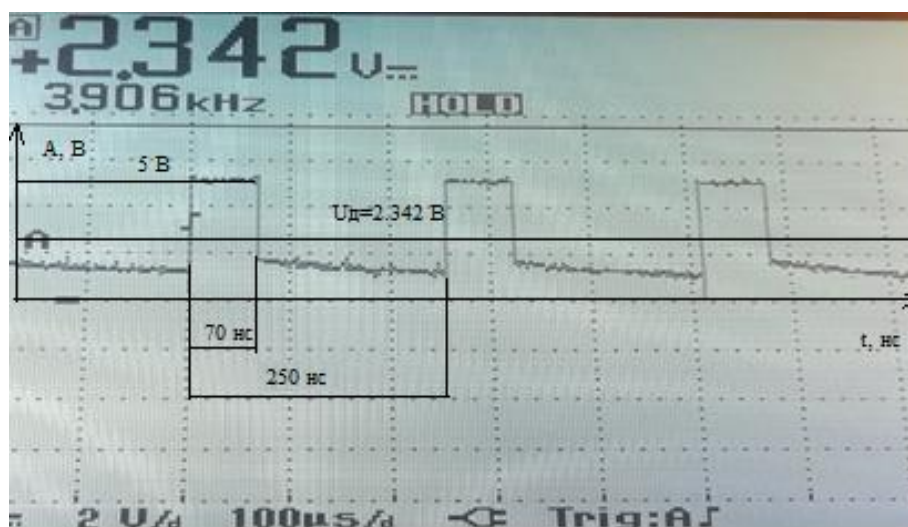


Рис. 3.2.2. Осциллограмма выходного напряжения на транзисторе

Из нее видно, что скважность для данного случая составляет $\frac{250}{70} = 3,57$ меандр, а коэффициент заполнения равен $\frac{1}{3,57} = 0,28$.

3.3. Реализация ячейки

Была собрана водородная ячейка по указанной выше принципиальной схеме. В качестве электродов были выбраны стальные электроды ВГП $\frac{1}{2}$ '' 120 мм и $\frac{3}{4}$ '' 100 мм, т.к. аналогичные трубки из вольфрама или стали 310/316L оказались значительно дороже и проводить исследование было бы экономически нецелесообразно.

Проведены измерения параметров полученных коаксиальных электродов, а именно емкостное и активное сопротивление. Емкость составила $C=1.6$ мФ, а активная составляющая $R=250$ Ом.

4. Экспериментальная часть

4.1. Экспериментальные замеры производительностей ячейки

Для проверки влияния импульсного напряжения на производительность и КПД водородной ячейки были проведены следующие измерения:

- Прямое подключение к источнику постоянного тока;
- Подключение через MOSFET транзистор на частотах: 7 812,5 Гц; 3 906,25 Гц; 30,52 Гц.

Перед проведением экспериментов была проведена механическая очистка электродов, а также промывка в ацетоне и дистиллированной воде.

Прямое подключение в данном случае необходимо для получения начальных значений производительности и КПД, которые берутся за основу в установлении результатов от реализации импульсного напряжения.

Результаты измерений напряжения, тока и времени наполнения пробирки 5 мл представлены в таблице 4.1.1.

Таблица 4.1.1. Результаты измерений

№	Наименование измерения	U, В	I, А	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с	t _{ср} , с
1	Прямое	11,7	1,48	34	32	35	33,7
2	При частоте 7 812,5 Гц, K _{СКВ} =0.844	8,4	0,4	73	70	72	71,7
3	При частоте 3 906,25 Гц, K _{СКВ} =0.844	4,2	0,2	200	205	195	200
4	При частоте 30,52 Гц, K _{СКВ} =0.844	6,3	0,38	112	120	117	116,3

Проведем расчет производительности и КПД полученных значений из таблицы 4.1.1, учитывая, что смесь сгорает полностью, параметры водорода приняты следующие:

- Плотность водорода принята 0,0898 кг/м³;
- Удельная теплота сгорания 130 МДж/кг;

Данные расчета приведены в таблице 4.1.2.

Таблица 4.1.2. Расчет показателей эффективности

№	V _{пробирки} , мл	V _{H₂} , см ³	P, Вт	E, Дж	E _{H₂} , Дж	КПД	КПД _{имп} /КПД _{прямое}	Q, см ³ /с	Q _{имп} /Q _{прямое}
1	5	3,3	17,3	584	38,91	0,067	-	0,099	
2			3,4	244		0,160	2,393753	0,046	0,47
3			0,9	176		0,221	3,31562	0,017	0,17
4			2,4	283		0,138	2,061471	0,029	0,29

, где P – активная мощность (для опытов 2-4 учтено потребление платы управления Arduino Uno 40 мА); E – энергия, потребленная в процессе электролиза, E_{H₂} – энергия сгорания указанного объема водорода; КПД – отношение энергии сгорания водорода к затраченной на процесс электролиза; КПД_{имп}/КПД_{прямое} – отношение, отражающее эффективность применения импульсного напряжения по сравнению с прямым подключением электродов, Q – производительность по водороду.

Из полученных расчетных значений видно, что применение импульсного напряжения значительно повышает КПД системы по сравнению с прямым подключением, особенно это проявилось для частоты 3 906,25 Гц, в ряде статей [9-11] указывалось что для воды есть ряд

частот оптимальных для вывода молекулы из равновесного состояния, что позволяет с минимальными затратами энергии провести ее разрыв. В статьях указывают частоты 1595, 3657, 3756 Гц, в свою очередь последняя приближена к частоте, используемой в настоящем эксперименте 3906,25 Гц, которая показала наибольшую энергоэффективность, но наименьшую производительность.

Дальнейшим шагом стоит проводить испытание по схеме Мейера (рис. 1), но в связи с сложной эпидемиологической ситуацией в мире, возникла проблема с поставкой необходимых запчастей, в связи с этим проверить работу ячейки на схеме не представляется возможным, т.к. требуется ряд электрооборудования, аналоги которых в Томске имеют высокую стоимость, а именно высокочастотный понижающий трансформатор АС/АС, высокочастотный повышающий трансформатор DC/DC, 2 катушки индуктивности на 24 мГн, 2 катушки индуктивности на 12 мГн.

Даже без учета реализации схемы Мейера, было достигнуто значительное увеличение КПД в 3,31 раза, при снижении производительности в 0,17 раз, но это только экспериментальная малопроизводительная ячейка. При дальнейшем изучении данного вопроса можно будет рассчитать необходимые объемы установки для работоспособной установки, т.к., к примеру для эффективного использования газовых горелок требуется производительность газовой смеси 1 л/мин, при текущей для 3906,25 Гц 0,0000165 л/мин.

Так же было замечено, что в процессе электролиза на импульсном напряжении происходило обильное отслоение ржавчины с электродов. Такого эффекта не наблюдалось при прямом подключении. Это может быть связано с процессами, указанными в статье «Электролиз воды с импульсным индуктивным напряжением», т.е. протекание тока происходит только по поверхности электродов, а не по всей площади сечения электрода, что так же позволяет уменьшать толщину электродов.

Стоит отметить, что данная установка в случае недостатка производительности может быть установлена как стационарный генератор, создаваемый газ будет помещаться в ресивер. В дальнейшем его можно перекачивать в отдельные баллоны и спокойно пользоваться переносными устройствами (горелки), нагревать котлы, при применении сепараторов может заправлять автомобили и т.д. Перспективы у данной разработки есть, т.к. зачастую идут размышления как можно повысить эффективность электростанций в целом, а не отдельно взятого электрохимического процесса, поэтому данная разработка может найти отклик как в слесарно-ремонтных задачах, так и у целых производств, например алюминиевые заводы, которые добывают непосредственный металл из расплава руды методом электролиза.

4.2. Рекомендации для изготовления рабочего прототипа

После проведения указанных выше измерений и экспериментальной ячейки в целом есть ряд примечаний, которые необходимо будет учитывать при создании рабочих прототипов:

Необходим запас по высоте корпуса с электролитом/водой, т.к. в процессе протекания реакции образуется пена с другими производными, которые могли быть не учтены в процессе изготовления ячейки, расширительный бак обеспечивает циркуляцию этой пены, но запас будет отсутствовать, то часть электрода будет находится в газовой среде, соответственно реакция в данной области протекать не будет.

Корпус должен быть доступен для проведения технологической чистки, а также подключения силовых проводников к электродам, возможно имеет смысл сделать внутри камеры специальные крепежи под кабель, т.к. необходим запас кабеля внутри емкости для бесперебойного подключения электродов, либо изготовить электроды с штекерным разъемом на дне рабочей емкости.

Отдельное внимание стоит уделить герметизации всех отверстий, патрубков и т.д. Столкнулся с проблемой протекания системы внутри изоляции проводов, т.е. вода малыми каплями вытекал на силовые контакты MOSFET транзистора, в рамках текущей работы, провел обжимку контактов с наложением термоусадки, но стоит знать о подобной проблеме.

Крепежные планки электродов стоит устанавливать как снизу, так и сверху, для исключения вероятности замыкания электродов, в случае использования установки как переносного средства, расположение электродов в нормальных условиях вертикальное, допускаются отклонения, но не горизонтальное расположение, повлечет такой же эффект как описывался ранее, будет присутствовать существенная область загазованного пространства.

Генерируемая смесь газов является взрывоопасной поэтому следует учитывать температурные режимы работы как установки, так и окружающей среды, при возможности устанавливать дублирующие средства защиты, такие как водяной затвор, огнепреградительный клапан, например на выходе из генератора, после расширительного бака (который в целом выполняет функцию водяного затвора), дополнительно установить еще одну емкость водяного затвора, после него огнепреградительный клапан, а после этого вести патрубок к рабочему устройству, на данной смеси, если это к примеру горелка, установить на приходящем патрубке еще один огнепреградительный клапан.

4.3. Выводы по экспериментальной части

Подводя итог вышеизложенному материалу, стоит отметить достижение целей в плане повышения энергоэффективности процесса электролиза и применения высокочастотных импульсов. Это показывает правильное направление развития идеи о поляризационном электролизе за счет высокого электростатического поля.

Из измерений и источников видно, что при определенных частотах затраты энергии на разрыв молекулы воды значительно снижаются, при этом снижалась производительность, но это не определяющий фактор, т.к. при низком энергопотреблении такие установки смогут беспрепятственно работать на солнечных панелях, обеспечивая бесперебойное электро-, тепло- снабжение для частных домов, существенно снизить нагрузки на электрогенерирующие компании, осуществляющих питание крупных заводов, в основе которых лежит принцип электролиза. Может дать существенный толчок в развитии автомобилестроения на твердотопливных элементах, за счет организации дешевых заправочных станций, которые смогли бы обеспечивать себя автономно, при наличии скважины, либо другого источника воды и солнечных панелей в регионах благоприятных для их использования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8B	Ложкину Анатолию Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника/Технологии водородной энергетики

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость компьютерного оборудования 30000 рублей, базовый оклад работников НИ ТПУ для доцента, к.т.н. 23264, 86 рублей, для ассистентов 14584,32 рублей. Бюджет проекта не более 300000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Стоимость компьютерного оборудования 30000 рублей, базовый оклад работников НИ ТПУ для доцента, к.т.н. 23264, 86 рублей, для ассистентов 14584,32 рублей. Бюджет проекта не более 300000 руб. Интегральный показатель ресурсоэффективности не менее 4,2 баллов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Страховые взносы в размере 30%, ставка отчислений во внебюджетные фонды 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценка готовности проекта к коммерциализации, выбор метода коммерциализации для разработанного метода импульсного электролиза
2. Разработка устава научно-технического проекта	Постановка целей и результатов разработанного проекта, выявление заинтересованных лиц, формирование организационной структуры проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение контрольных событий проекта, составление плана проекта, формирование бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение сравнительной эффективности реализации проекта на аналогах контроллеров и электронных комплектующих в сравнение с оригинальными, а также при реализации на вольфрамовых и стальных электродах марки 316L

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
7. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н., доцент		4.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8B	Ложкин Анатолий Сергеевич		4.03.2020

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Введение

В настоящее время, электролиз является самым энергозатратным методом получения водорода, в связи с этим разработки, которые позволят модернизировать сам электрохимический процесс позволят снизить эти затраты. Это позволит сделать данный метод более конкурентоспособным в сравнение с конверсией, газификацией и пиролизом.

В настоящей работе рассмотренный метод получения водорода при воздействие импульсного напряжения не имеет широкого распространения, но данный метод позволил существенно повысить энергоэффективность, при снижении производительности, но данная проблема решаема, о предложении по ее решению будет изложено в следующих разделах.

На старте реализации рабочего прототипа, стоит опробовать технологию на компаниях, занимающихся мелкосерийным производством, либо проведением слесарно-ремонтных задач. В связи с этим рассмотрен пример на генераторах водорода для ювелирных мастерских и других подобных задач. На основании обратной связи от людей воспользовавшихся данными устройства будет возможен рост и модернизация оборудования до средних и крупных предприятий.

5.1. Предпроектный анализ

При текущем уровне разработки установки, фактически неспособна противопоставить себя давно известным рынку компаниям по разработке водородных газогенераторов, которые находятся на нем продолжительный срок, например SEVER`S представлена на рынке с 1998 года. Это связано с большим количеством неотлаженных процессов и недоработок в связи с ограниченностью бюджета на исследования и малого изучения вопросов, поднятых в настоящей работе в мире в целом, т.е. отсутствие необходимой информации для проектирования.

Компания имеет различный сортамент газогенераторов на основе электролизеров постоянного тока, одним из них является Optic-350, стоимость 600 евро. Предназначен для работы в ювелирных или стоматологических мастерских. Идеально подходит для мини-сварки и пайки черных и цветных металлов. Значительно упрощают работу при обработке полимеров, пластмассы и композитных материалов. Возможна обработка стекла и кварца, интересующие на данном этапе параметры [20]:

- Напряжение питания: ~ 220 В/ 50Гц.
- Потребляемая мощность: 1300 Вт.
- Производительность: до 350 л/ч.
- Габаритные размеры: 25х40х35 см. вес 23 кг.

На основании этих данных появляется возможность теоретически рассчитать повышение эффективности данного устройства от установки системы импульсного напряжения, т.к. указанная производительность является максимальной и для выполнения обычных операций не всегда нужна, есть запас по ее уменьшению [20].

Так же рассмотрим Водородный газогенератор ВУ-300, также используемый в ювелирных мастерских и т.д., стоимость 39000 руб., имеющий следующие параметры [21]:

- Напряжение питания: ~ 220 В/ 50Гц.
- Потребляемая мощность: 1500 Вт.
- Производительность: до 350 л/ч.
- Габаритные размеры: 50х34х47 см. вес 45 кг.

Теоретический расчет текущей эффективности и после установки приведен в таблице 5.1.1.

Таблица 5.1.1. Теоретический расчет эффективности реализации импульсного электролиза

Наименование	V _{H2} , м3	P, Вт	E, Дж	E _{H2}	КПД	Q, л/ч
Optic-350	0,2625	1300,0	4680000	3064425	0,655	262,5
Optic-350m		175,7	3731925		0,821	44,9
ВУ-300		1500,0	5400000	3064425	0,567	262,5
ВУ-300m		202,8	4306554		0,712	44,9

В расчете было учтено, что используется электролит NaOH, т.к. в течение реакции электролиза изменилось соотношение производимых газов H₂ и O₂ на $\frac{3}{4}$ и $\frac{1}{4}$ соответственно, так же учтено время, затраченное на генерацию того же объема газа, которое составило 5,9 часа в сравнение с исходным генератором. Устройства рассчитаны на работу под давлением 6 бар, это позволит создать необходимое для компенсации потерь объема производительности давление в ресивере на 60 литров WABCO, стоимость 16000 руб. [24].

Исходя из полученных данных при 9 часовом рабочем дне с учетом времени отдыха 1 час и количества рабочих дней в году 260 годовое потребление электроэнергии для Optic-350 и Optic-350m. Стоимость 1 кВт/ч принята 3,5 руб. Расчет экономической эффективности перехода на импульсный электролизер приведен в таблице 5.1.2.

Таблица 5.1.2. Расчет экономической эффективности

Оборудование	Потребление за сутки, кВт/ч	Суточные затраты, руб.	Месячные затраты, руб.	Годовые затраты, руб.	Годовая экономия, руб	Срок окупаемости ресивера, год
Optic-350	10,4	36,4	1092,0	9464	8184,9	1,95
Optic-350m	1,4056	4,9	147,6	1279		

Первые два года потребуются для окупаемости ресивера (в случае если в его установке действительно будет нужда), далее от использования такого оборудования будет ежегодная экономия в размере 8184,9 руб.

5.2. Потенциальные потребители результатов исследования

Для любого предпринимателя важно минимизировать как постоянные затраты, так и переменные затраты, к последним относятся электроэнергия. Если рассматривать те же ювелирные, слесарно-ремонтные и керамические мастерские, которые зачастую работают на пропан-бутановых горелках, переход на водородные горелки позволит значительно ускорить работу в целом за счет повышения температуры рабочего пламени с 1500°C до 2500°C, так же при горении водорода выделяются только пары воды, что будет положительно сказываться на экологической обстановке, что является трендом во многих крупных компаниях, например СИБУР, поэтому они могут проявить интерес к данной разработке и провести инвестирование. Карта сегментирования представлена на рисунке 5.2.1.

		Вид целевой продукции		
		Для плавки	Для обогрева помещений	Для слесарно-ремонтных работ
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Рис. 5.2.1. Карта сегментирования рынка услуг по разработке оптимального процесса облагораживания бензинов

В результате сегментирования выявили, что основными сегментами рынка являются потребители мелкого размера, основная деятельность которых направлена на слесарно-ремонтные работы. Так же в данном направлении могут проявить интерес средние и крупные компании.

На текущий момент перед настоящей магистерской диссертацией стоит задача развить сам метод на начальном этапе концентрируется все внимание на компаниях мелкого размера, т.е. небольшие мастерские, частные дома и т.п.

5.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Проведем сравнительный анализ для Б_ф - Optic-350m, Б_{ф1} - ВІУ-300m и стандартного Б_{ф2} - Optic-350. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{ф1}	Б _{ф2}	К _ф	К _{ф1}	К _{ф2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,10	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Удобство в эксплуатации	0,10	5	2	5	0,5	0,2	0,5
Качество продукта	0,30	5	3	4	1,5	0,9	1,2
Стадийность	0,10	5	4	5	0,5	0,4	0,5
Длительность производственного цикла	0,10	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Уровень проникновения на рынок	0,07	2	2	3	0,14	0,14	0,21
Цена	0,09	3	5	3	0,27	0,45	0,27
Предполагаемый срок эксплуатации	0,04	5	3	4	0,2	0,12	0,16
Итого	1				4,51	3,21	4,14

К конкурентным преимуществам предлагаемого процесса получения водорода в первую очередь можно отнести энергоэффективность и простоту модернизации действующих генераторов, т.к. при текущей реализации схемы требуется установка MOSFET транзистора под соответствующую мощность и платы управления Arduino в целом достаточно для реализации данного метода.

5.4. SWOT – анализ

SWOT представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. SWOT – анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых

научно – исследовательский проект будет реализовываться. Анализ проводился в несколько этапов. В таблице 5.4.1 приведен первый этап SWOT анализа

Таблица 5.4.1. Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны НИП:</p> <p>С1. Простота применения</p> <p>С2. Адекватность разработки</p> <p>С3. Актуальность исследования для развивающейся водородной индустрии</p> <p>С4. Снижение эксплуатационных расходов и малый объем капитальных вложений для модернизации</p>	<p>Слабые стороны НИП:</p> <p>Сл1. Отсутствие необходимых знаний для создания опытного образца большой производительности</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации</p> <p>Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p> <p>Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Использование инфраструктуры сторонних предприятий, например SEVER`S</p> <p>В3. Появление потенциального спроса на новые разработки</p> <p>В4. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок</p>	<p>Простота применения и адекватность модели может вызвать спрос на нее.</p> <p>Кроме того, унифицированность и адекватность разработки может увеличить конкурентоспособность разработки. Низкие затраты проекта могут привлечь больше сотрудников и исполнителей.</p>	<p>При снижении конкурентоспособности подобных разработок и при появлении спроса на новые может появиться возможность использования данной НИР в компаниях, уже изучавших данный метод получения водорода методом электролиза</p>

Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Значительная конкуренция У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	1. Продвижение программы с целью создания спроса 2. Создание конкурентных преимуществ готового продукта 3. Сертификация и стандартизация продукта	1. Отсутствие спроса на новые технологии производства 2. Развитая конкуренция технологий производства 3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения эксперимента
--	---	---

Первый этап заключался в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 5.4.2.

Таблица 5.4.2. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны объекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	0	+
	B2	+	+	0	+
	B3	+	+	0	-
	B4	0	0	0	0
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	-	-	-	+
	У2	0	0	+	0
	У3	+	+	+	+
	У4	-	+	+	-
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	+	+	+	+

	B2	+	+	-	+
	B3	+	+	+	-
	B4	0	+	+	-
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	-
	У2	+	+	-	+
	У3	+	+	-	+
	У4	-	-	+	+

После того как сформулировали четыре области SWOT, перешли к реализации второго этапа, который состоял в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно – исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствия или несоответствия должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений

В рамках данного этапа построили интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, возможности описываются следующим образом: B1B2C3C4. В рамках третьего этапа была составлена итоговая матрица SWOT – анализа, которая приведена в таблице 5.4.3.

Таблица 5.4.3. SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны НИП:</p> <p>С1. Простота применения</p> <p>С2. Адекватность разработки</p> <p>С3. Актуальность исследования для развивающейся водородной индустрии</p>	<p>Слабые стороны НИП:</p> <p>Сл1. Отсутствие необходимых знаний для создания опытного образца большой производительности</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации</p>
--	---	---

	С4. Снижение эксплуатационных расходов и малый объем капитальных вложений для модернизации	Сл3. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл.4 Отсутствие бюджетного финансирования.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры сторонних предприятий, например SEVER`S В3. Появление потенциального спроса на новые разработки В4. Уменьшение значимости или достоинства конкурентных разработок	Простота применения, адекватность модели, актуальность исследования для предприятий увеличит спрос и конкурентоспособность НИР (В1В2С1С2). При подключении в работу новых разработок уменьшаются расходы и капитальные вложения.	Помощь в финансировании проекта и его сертификации могут оказать инновационные инфраструктуры (В1В2Сл2Сл4). Необходимо снизить конкурентоспособность подобных разработок и расширить использование данной НИР во многих компаниях (В3В4Сл1Сл2).
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии У2. Значимая конкуренция У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Актуальность исследования, простота и адекватность предлагаемой схемы модернизации позволяют повысить спрос и конкуренцию разработки, что уменьшает влияние финансирования (С1С2С3У1У2У4). В силу малой затратности проекта представляется возможность вложения	Отсутствие прототипа, сертификации научной разработки, невозможность использования в компаниях с серьезными требованиями к сертификации приведет к отсутствию спроса и отсутствию конкуренции проекта (У1У2Сл1Сл2Сл3), а отсутствие финансирования приведет к

	дополнительных денежных средств в другие услуги, такие как сертификация (С4У3).	невозможности получения сертификации (У3Сл4).
--	---	---

5.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполнили специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта, приведенная в таблице 5.5.1.

Таблица 5.5.1. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации [21]

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно – технический задел	4	3
Определены перспективные направления коммерциализации научно – технического задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары и услуги) для предложения на рынок	5	5
Определена товарная форма научно – технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
Разработан бизнес – план коммерциализации научной разработки	3	2
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3

Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
Итого баллов	48	45

Так как значение получилось от 45 до 48 – то перспективность проекта можно считать выше средней. Для увеличения уровня перспективности необходимо, в первую очередь, проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок, а также вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот, для этого возможно необходимо привлечь сторонних специалистов.

5.6. Методы коммерциализации результатов научно – технического исследования

Задача данного раздела магистерской диссертации – выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для разработанной модели электролизера на импульсном напряжении выбран инжиниринг.

Инжиниринг выделяют как самостоятельный вид коммерческих операций, который предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной (консультант), другой стороне (заказчику), комплекса или отдельных видов инженерно – технических услуг, связанных с проектированием и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции [25].

Данный вид коммерциализации поможет в продвижении продукта на рынок товаров и услуг, и в случае успеха у одних, другие компании и организации могут заинтересоваться произведенной продукцией, тем самым возможно расширение рынка потребителей.

5.7. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы уже существующего [23]. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать между собой и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта магистерской диссертации, и он должен иметь следующую структуру:

1) Цели и результаты проекта – привели информацию о заинтересованных лицах проекта (таблица 5.7.1), иерархию целей проекта и критерии достижения целей (таблица 5.7.2).

Таблица 5.7.1. Заинтересованные стороны исследования

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
SEVER`S	Повышение энергоэффективности электролизных газогенераторов
НИИ ТПУ	Разработка перспективного проекта, готового к реализации и дальнейшим исследованиям
Разработчик	Массовый интерес к исследуемому процессу, проведение финансирования для дальнейших исследований и реализации рабочих прототипов

Таблица 5.7.2. Цели и результат проекта

Цели исследования	Разработка импульсного электролизера
Ожидаемые результаты исследования	Повышение КПД от использования импульсного напряжения
Критерии приемки результатов исследования	Адекватность полученных результатов
Требования к результатам исследования	Стандартизация готового продукта

2) Организационная структура проекта отражает состав рабочей группы, роль каждого участника, функции и трудозатраты в проекте, представлена в таблице 5.7.3.

Таблица 5.7.3. Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, дни
Герасимов Дмитрий Юрьевич, НИ ТПУ, ИШЭ, ОЭЭ, доцент, к.т.н.	Руководитель	Координация деятельности проекта	24
Ложкин Анатолий Сергеевич, НИ ТПУ, ИШЭ, ОЭЭ, магистр	Студент (магистр)	Выполнение НИР	79
Спицына Любовь Юрьевна, НИ ТПУ, ОСГН, доцент, к.э.н.	Эксперт проекта	Консультант ЭЧ	21
Романова Светлана Владимировна, НИ ТПУ, ООД, ст.преп.	Эксперт проекта	Консультант СО	21
Итого:			145

5.8. Планирование и формирование бюджета научного исследования

5.8.1. Контрольные события проекта

Контрольные события проекта необходимо закрепить в форме таблицы 5.8.1.1 с ключевыми событиями проекта, их датами и результатами, которые необходимо получить.

Таблица 5.8.1.1. Контрольные события проекта

Контрольное событие	Дата	Результат
Разработка технического задания	15.02.2020	Бланк заданий на выполнение магистерской диссертации
Изучение литературы	04.04.2020	Литературный обзор
Проведение экспериментов и создание экспериментальной водородной ячейки, с последующим проведением замеров энергоэффективности	17.04.2020	Расчетная часть
Оформление выводов	20.04.2020	Выводы по работе
Оценка эффективности производства и применения проектируемого процесса	08.05.2020	Раздел экономической эффективности проекта
Разработка социальной ответственности по теме	22.05.2020	Раздел социальная ответственность
Оформление пояснительной записки	31.05.2020	Магистерская диссертация

5.8.2. План проекта

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят магистрант, научный руководитель, консультант по социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) магистерской диссертации.

Составили перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провели распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.8.2.1.

Таблица 5.8.2.1. Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Разработка технического задания	7	15.02	22.02	Руководитель, консультант ЭЧ, СО, магистрант
Изучение литературы, составление литературного обзора	14	22.02	07.03	Магистрант
Проведение экспериментов и создание экспериментальной водородной ячейки, с последующим проведением замеров энергоэффективности	45	08.03	20.04	Магистрант, руководитель
Обсуждение полученных результатов	3	21.04	24.04	Магистрант, руководитель
Оформление выводов	4	24.04	28.04	Магистрант
Оценка эффективности производства и применения проектируемого процесса	14	28.04	5.05	Магистрант, консультант по ЭЧ

Разработка социальной ответственности по теме	14	05.05	19.05	Магистрант, консультант СО
Оформление пояснительной записки	10	20.05	30.05	Магистрант

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График строится в виде таблицы 5.8.2.2 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 5.8.2.2. Календарный план – график проведения магистерской диссертации

Вид работ	Исполнители	Т _к , кал дн	Продолжительность выполнения работ									
			Ма рт		Апре ль			Май				
Разработка технического задания	Руководитель, консультант ЭЧ, СО, магистрант	7										
Изучение литературы, составление литературного обзора	Магистрант	4										
Проведение экспериментов и создание экспериментальной водородной ячейки, с последующим проведением замеров энергоэффективности	Магистрант, руководитель	45										
Обсуждение полученных результатов	Магистрант, руководитель	3										
Оформление выводов	Магистрант											
Оценка эффективности производства и применения проектируемого процесса	Магистрант, консультант по ЭЧ											

5.9.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИ и имеющегося в данной научно – технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

В качестве специального оборудования для данной работы выступают, осциллограф и мультиметр. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сведены в таблицу 5.9.2.1.

Таблица 5.9.2.1. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол – во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Материальные затраты			
Канцелярские товары для написания работы	1	500	500
Материалы для изготовления водородной ячейки	1	6000	6000
			6500
Затраты на специальное оборудование			
Компьютер	1	30000	30000
Спец. оборудование	1	5000	5000
Доставка, монтаж	1	4500	5250
Содержание, ремонт и эксплуатация	1	3000	3500
Амортизационные отчисления	4	583	2333
Итого:			46083

Амортизационные отчисления вычисляются по формуле:

$$A = C / \text{СПИ} / 12.$$

, где A – сумм амортизации за месяц; C – первоначальная стоимость специального оборудования; СПИ – срок полезного использования оборудования в годах.

5.10. Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников [1], непосредственно занятых выполнением НИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату, также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада по формуле (24):

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (24)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12 – 20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя от ТПУ рассчитывается по формуле (25):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (25)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно – техническим работником, раб. дн. (таблица 8);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (26):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (26)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно – технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.10.1 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней:	105	105	105	105
-выходные дни,	14	14	14	14
-праздничные дни				
Потери рабочего времени	24	60	24	24
-отпуск,	0	0	0	12
-невыходы по болезни				
Действительный годовой фонд рабочего времени	222	186	222	210

Месячный должностной оклад работника определяем по формуле (27):

$$З_m = З_б \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (27)$$

где $З_б$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15 – 20 % от $З_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 5.10.2 Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_б$,руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$,руб	$З_{дн}$,руб.	T_p ,раб.дн	$З_{осн}$,руб.
Руководитель	23264,86	0,3	0,2	1,3	15122,16	762,92	24	18310,07
Магистрант	14584,32				9479,81	570,83	79	45095,34
Консультант ЭЧ	23264,86				15122,16	762,92	21	16021,31
Консультант СО	23264,86				15122,16	806,52	21	16936,82

5.11. Дополнительная заработная плата научно – производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле (28) исходя из 10 – 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы [1]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} , \quad (28)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, примем 15%;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Тогда общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 5.11.1.

Таблица 5.11.1. Общая заработная плата исполнителей НИ

Зарботная плата	Руководитель	Магистрант	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Основная зарплата	18310,07	45095,34	16021,31	16936,82
Дополнительная зарплата	2746,51	6764,30	2403,20	2540,52
Зарплата исполнителя	21056,58	51859,65	18424,51	19477,34
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	110818,08			

5.12. Отчисления на социальные нужды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (29):

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (29)$$

, где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2020 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 № 212 – ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона № 212 – ФЗ для

учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, водится пониженная ставка – 27,1%. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.12.1.

Таблица 5.12.1. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Зарплата исполнителя, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель проекта	21056,58	5706,33
Магистрант	51859,65	14053,96
Консультант ЭЧ	18424,51	4993,04
Консультант СО	19477,34	5278,36
Итого:		30031,70

5.13. Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80 – 100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Расчет накладных расходов ведется по формуле (30):

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (30)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, примем 80%.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ, которая представлена в таблице 5.13.1.

При реализации водородной ячейки планировалось использование электродов из редкоземельного металла - вольфрама, либо стали 316L, но в связи с большой стоимостью данных материалов было решено использовать, дешевый аналог стали ВГП стоимостью 4 500 руб.

По опрошенным поставщикам указанных выше материалов была составлена средняя цена для электродов из вольфрама она составила 40 000 руб., для стальных электрод марки 316L данная сумма заказа составляет 25 000 руб. Так же рассмотрена возможность заказа оригинальных электронных комплектующих, в данном случае стоимость необходимых запчастей увеличивается в 2.5 раза и составляет 3 750 руб. Для проведения определения

ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки импульсного электролизера были предположены два аналога:

- Использование вольфрамовых электродов;
- Применение стальных электродов марки 316L.

При учете установки оригинальных электронных комплектующих.

Таблица 5.13.1. Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Данный проект	Аналог 1	Аналог 2
Материальные затраты НТИ	6500,00	42000,00	27000,00
Специальное оборудование для научных работ	46083,00	46083,00	46083,00
Основная заработная плата исполнителей темы	96363,55	96363,55	96363,55
Дополнительная заработная плата исполнителей темы	14454,53	14454,53	14454,53
Отчисления во внебюджетные фонды	30031,70	30031,70	30031,70
Накладные расходы	88654,47	88654,47	88654,47
Итого плановая себестоимость	282087,25	317587,25	302587,25

Диаграмма, которая иллюстрирует бюджет НИП представлена на рисунке 5.13.1.



Рис. 5.13.1. Диаграмма бюджета НИП

5.14. Организационная структура проекта

В качестве организационной структуры проекта была выбрана проектная структура, т.к. основными критериями отнесения данной работы к этому виду структуры было: высокие обязательства по срокам исполнения работы, уникальность технологии и высокая взаимосвязь между отдельными частями проекта, приведенная на рисунке 5.14.1.

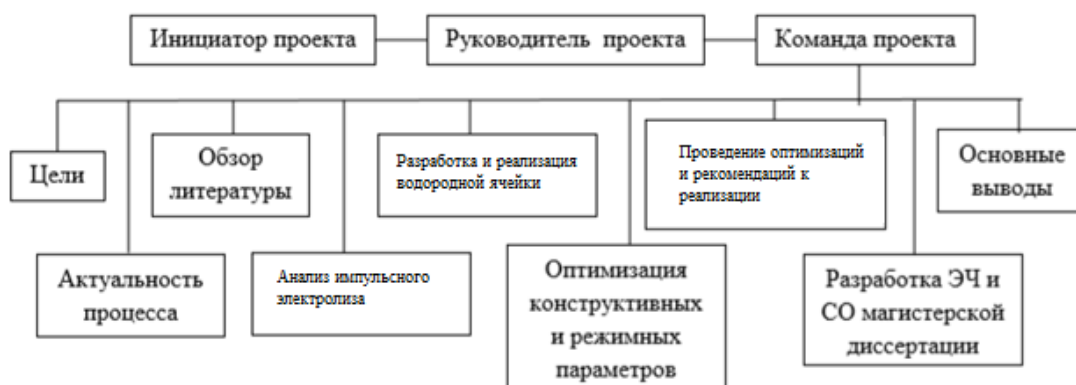


Рис. 5.14.1. Проектная структура проекта

5.15. Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта, сформировали матрицу ответственности, которая представлена в таблице 5.15.1.

Таблица 5.15.1. Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Магистрант	Консультант ЭЧ	Консультант СО
Разработка технического задания	О,И	С	О,И	О,И
Изучение литературы, составление литературного обзора	С	О,И	-	-
Реализация водородной ячейки и проведения экспериментов	О,С	О,И	-	-

Обсуждение полученных результатов	С	О,И	-	-
Оформление выводов	С	О,И	-	-
Оценка эффективности производства и применения проектируемого процесса	-	О,И	С	-
Разработка социальной ответственности по теме	-	О,И	-	С
Оформление пояснительной записки	-	О,И	-	-

5.16. План управления коммуникациями проекта

Была разработан план управления коммуникациями (таблица 5.16.1), который отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта.

Таблица 5.16.1. План управления коммуникациями

Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
Статус проекта	Руководитель проекта	Инициатору проекта	В конце срока выполнения
Обмен информацией о текущем состоянии	Исполнитель проекта	Руководителю/Экспертам проекта	Еженедельно
О выполнении контрольных точек	Исполнитель проекта	Руководителю/Экспертам проекта	Не позже контрольного события по графику

5.17. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности разработки импульсного электролизера

Определение сравнительной эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Как упоминалось в разделе 5.13 к проведению расчета интегрального показателя эффективности НИ, выбрано два аналога реализации водородной ячейки:

Аналог 1: Использование вольфрамовых электродов и оригинальных электронных комплектующих;

Аналог 2: Использование стальных электродов марки 316L, так же с оригинальными электронными комплектующими.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле (31):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (31)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i – го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НИП.

$$\text{Для данного проекта: } I_{\text{финр}}^{\text{исп}} = \frac{282087,3}{317587,25} = 0,89 ;$$

$$\text{Для первого аналога: } I_{\text{финр}}^{\text{исп}} = \frac{317587,25}{317587,25} = 1;$$

$$\text{Для второго аналога: } I_{\text{финр}}^{\text{исп}} = \frac{302587,3}{317587,25} = 0,95.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле (32):

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (32)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i – го

варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i – го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i – го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 5.17.1. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Данный проект	Аналог 1	Аналог 2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,20	4	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2	3
Качество продукта	0,30	4	5	5
Простота эксплуатации	0,20	5	2	3
Длительность производственного цикла	0,15	4	4	4
Итого	1,00	4,35	3,8	3,95

$$I_{\text{данный проект}} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,30 + 5 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,15 = 4,35.$$

$$I_{\text{аналог 1}} = 5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,30 + 2 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,15 = 3,8.$$

$$I_{\text{аналог 2}} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,30 + 3 \cdot 0,20 + 4 \cdot 0,15 = 3,95.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{эф}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (33):

$$I_{эф} = \frac{I_{pi}}{I_{финр}}, \quad (33)$$

Сравнение интегральных показателей эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (таблица 22). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$) определяется по формуле (34):

$$\mathcal{E}_{эф} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (34)$$

Таблица 5.17.2. Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог1	Данный проект	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,89	0,95
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	4,35	3,95
Интегральный показатель эффективности	3,8	4,89	4,15
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,29		1,18

Интегральный финансовый показатель для данного проекта меньше, чем для первого и второго аналога, это говорит о том, что данный проект обладает меньшей стоимостью, чем два аналога этого проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности данного проекта больше, чем у аналогов. Интегральный показатель эффективности, рассчитанный на основании данных первых двух показателей, показывает преимущество данного проекта. Сравнение эффективности вариантов исполнения показало, что данный вариант решения с позиции финансовой и ресурсной эффективности является более приемлемым.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Проведенный экономический анализ показал, что проект является конкурентоспособным и является оптимальным среди представленных аналогов, так же проведенный теоретический анализ повышения энергоэффективности реального оборудования показывает значительную экономию электроэнергии, а именно 8184,9 руб./год, при стандартных затратах электроэнергии в 9464 руб./год, что составляет почти 86%.

Данный проект можно считать простым в реализации, т.к. текущее оборудование довольно просто модернизировать под данные модификации, но требуется финансирование на создание рабочего прототипа высокой мощности, для представления широким массам. Так же требуется финансирование на проведение дальнейших исследований по тематике импульсного электролиза.

Данное направление перспективно, т.к. при малых затратах энергии такие установки с лёгкостью смогут обеспечиваться электроэнергией от солнечных панелей, для создания и накопления газа, продолжая бесперебойное электроснабжения ночью, либо во время слабой солнечной энергии, что является актуальным для регионов удаленных от развитой инфраструктуры.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5AM8B	Ложкину Анатолию Сергеевичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника/Технологии водородной энергетики

Тема ВКР:

Получение водорода при воздействии на воду напряжением постоянного тока	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p><i>Объект исследования: электролизер, работающий на импульсном напряжении.</i></p> <p><i>Рабочим местом является лаборатория, для исследования установки по получению водородно-кислородной смеси газов, которая может применяться для выполнения операций по плавлению металлов, стекла и т.д., либо выполнения слесарно-ремонтных работ, либо обогрева жилых помещений за счет нагрева водяных котлов.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ПУЭ: Глава 7.10. Электролизные установки и установки гальванических покрытий; – МПОТ: Глава 4.3. Электролизные установки; – СТО 70238424.27.100.050-2009; – ГОСТ Р 52350.29.2-2010. – РД 34.50.501-96
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – Раздражающие химические вещества; – Загазованность рабочей зоны; – Повышенная температура поверхности материалов; – Повышенный уровень шума на рабочем месте; – Отсутствие или недостаток естественного света; – Отклонение показателей микроклимата.
3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – Влияние горения водорода на атмосферу; – Утилизация электролита и его влияние на литосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– перечислить возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;

	– указать наиболее типичную ЧС.
--	---------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.02.20
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп.	Романова Светлана Владимировна	-		15.02.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8B	Ложкин Анатолий Сергеевич		15.02.20

6. Социальная ответственность. Введение

Социальная ответственность подразумевает под собой комплекс обязанностей перед теми или иными общественными силами и институтами, которые способствуют в решении таких проблем населения, как: социальных, экономических, образовательных, здравоохранительных проблем, обеспечивая при этом основы функционирования современного общества.

В соответствии с [1], благодаря кардинальному повышению эффективности государственного управления и социальной ответственности возможна реализация следующих целей:

1. создание условий, содействующих формированию структурно развитой, обеспечивающей нужды страны и населения, конкурентоспособной экономики на базе рабочих мест, позволяющих эффективно использовать материальные и человеческие ресурсы для интересов всех субъектов страны;

2. обеспечение более высокого уровня жизни гражданам Российской Федерации и внедрение принципов достойного труда на основе подходов Международной организации труда.

В данном разделе магистерской диссертации объектом рассмотрения является процесс высокочастотного импульсного электролиза воды

Рабочим местом является лаборатория, в которой происходит изучение электролизной ячейки, работающей на исследуемом принципе высокочастотного импульсного напряжения. Конечными пользователями текущей разработки на данный момент могут выступать: ювелирные, гончарные, слесарно-ремонтные работники и мастера, а также люди использующие данные установки в качестве средства нагревателей для котлов теплоснабжения в частных домах. Данная разработка направлена на повышение ресурсоэффективности метода электролиза, для повышения его конкурентно способности в будущем на фоне роста развития смежных направлений по получению водорода, например технологии получения водорода как попутного продукта реакции распада урана в атомных электростанциях разрабатываемой Японией.

Целью раздела являются анализ опасных и вредных факторов, имеющих место на объекте при неправильной эксплуатации устройства, а также мероприятий по ограничению их воздействия на использующий персонал, создание безопасных условий труда для

рабочих, перечисление организационных и технических мер, предусмотренных для чрезвычайных ситуаций, а также изучение вопроса охраны окружающей среды.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В целом для водородных горелок применимы все правила работы с обычными горелками на пропане, за исключением того, что при горении водорода образуется только водяной пар, единственным источником опасных веществ для органов дыхания могут производные реакций в электролите.

6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Относительно трудового законодательства работник, который будет осуществлять деятельность с устройствами по типу горелок на водороде должен соблюдать ряд общих требований:

Допуск к работам имеют люди, достигшие 18 летнего возраста. Прошедшие медицинское освидетельствование и обученные безопасной эксплуатации вверенного ему оборудования.

Для выполнения работ с газовыми горелками на водороде работник должен иметь минимально средне-специальное образование по профилю: «Слесарь по эксплуатации и ремонту газового оборудования». В зависимости от разряда и рода выполняемых работ может назначаться зарплата от 28 тыс. руб. до 245,7 тыс. руб., средняя заработная плата по данной профессии 45 тыс. руб. (по статистическим данным сайтов поиска работ на 2019 - 2020 год). График работ предпочтителен 8 часовой с перерывами на отдых 10 минут каждый час работы и 1 час на обед.

Работодатель проводит обучение по безопасному пуску, нормальной эксплуатации, плановой и аварийной остановке оборудования, а также сценарии действий в нештатных и аварийных ситуациях.

Работник должен быть обеспечен необходимыми СИЗ, в данном случае одежду и перчатки из огнестойких материалов, защитным экраном для лица.

Работник обязан поддерживать выданные ему СИЗ чистыми, проверять рабочую зону перед началом работы, на наличие посторонних объектов, особенно ЛВЖ.

Работник имеет право отказаться от выполнения поставленной задачи, если он считает ее выполнение не безопасной, в случаях обнаружения неисправностей работы должны быть прекращены, проведено оповещение руководителя работ, начаты меры по недопущению развития ЧС.

Помещение, в котором используется установка должно быть хорошо проветриваемо, иметь вытяжку, для предотвращения появления загазованного облака.

Работодателем должны быть обеспечены средства оказания первой помощи.

Рабочая зона в помещении должна быть оборудована средствами пожаротушения, для разрабатываемой установки подойдет как порошковый огнетушитель, так и углекислотный, т.к. установка относится к классу до 1000 В. Для выполнения работ с газовым оборудованием должна быть отведена площадь не менее 3 м² для одного поста.

6.1.2. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

В первую очередь стоит отметить, что водород является самым летучим газом, а также взрывоопасным с большим диапазоном концентрационного предела взрыва от 4% до 95%. Относится к III категории взрывоопасности. В соответствии с правилами безопасности при производстве водорода методом электролиза воды устанавливают требования к взрывопожароопасным объектам, соблюдение которых обеспечивает промышленную безопасность, и направлены на предупреждение аварий, случаев производственного травматизма на объектах, связанных с получением, обращением, применением и хранением электролитического водорода и кислорода. Разработаны правила в соответствии с Федеральным законом от 21.07.97 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»

Основные положения из данных правил касаются промышленных объектов, но основные требования, необходимые к выполнению перед вводом в эксплуатацию водородных горелок представлены далее:

На рабочем месте должны находиться инструкции по охране труда и технике безопасности, рабочие инструкции по эксплуатации и инструкции по пожарной безопасности, утвержденные в установленном порядке.

Устройство должно иметь разрешение на применение в установленном технологическом режиме работы и условиях, выданное Госгортехнадзором России в установленном порядке.

Любое изменение конструкции должно сопровождаться проектной документацией, согласованной с проектной организацией – разработчиками проекта или с организацией, специализирующейся в данной области.

Эксплуатация устройства с истекшим сроком поверки арматуры, предохранительных клапанов устройств КИП не допускается.

Здание, в котором размещена установка предпочтительно должно быть одноэтажным, с водяным отоплением.

При работе с щелочными электролитами требуется соблюдать осторожность, при дроблении твердых кусков натрия или калия накрывать их тканью, для предотвращения попадания щелочи на кожу, работу осуществлять в перчатках, а на глазах должны находиться очки. В случаях попадания щелочи на кожу или глаза требуется незамедлительно промыть место большим объемом воды, для снижения концентрации, так же возможно к применению для нейтрализации щелочи слабые кислоты, например борная (должна находиться в аптечке первой помощи). В связи с этим вблизи с зоной приготовления электролита должен быть обеспечен пункт с проточной питьевой водой.

Работники обязаны своевременно проводить регламентные ТО согласно рекомендация завода изготовителя.

6.1.3. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Как упоминалось ранее минимальная площадь для одного поста проведения работ с газовыми горелками 3 м², так же предпочтительно размещение в одноэтажных зданиях. Вытяжку рекомендуется ставить над зоной проведения работ. Допускается установка окон

для естественного проветривания помещения. Должно быть обеспечено естественное и искусственное освещение в соответствии с санитарными нормами проектирования промышленных зданий.

Рабочая зона должна быть выполнена из негорючих материалов, расстояние от генератора газа до места проведения работ не менее 10 м. Генератор должен находиться за защитной стеной. К нему также должен быть обеспечен свободный доступ, т.е. движения обслуживающего персонала не должны быть скованы.

Средства пожаротушения должны находиться вблизи рабочей зоны.

Так же в зоне приготовления электролита должен присутствовать отдельный слив под отработавший раствор, либо емкость для хранения, с последующей утилизацией специализированными службами, т.к. слив в общую канализацию может привести к возникновению термических реакций, которые могут привести к неисправностям в канализационных сетях.

6.2. Производственная безопасность

Для проведения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при исследовании, эксплуатации и ремонте электролизного генератора водорода на импульсном напряжении проведем анализ всех возможных и вероятных факторов, данные представлены в таблице 6.2.1.

Таблица 6.2.1. Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Раздражающие химические вещества	+		+	ГОСТ Р 56958-2016
Загазованность рабочей зоны	+		+	ГОСТ ISO 5492-2014

Повышенная температура поверхностей материалов	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96
Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.5 62-96
Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	СП 52.13330.20 16
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96

6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Проведем анализ полученных данных из таблицы 1. Рассмотрим каждый вредный фактор в отдельности, первые два пункта можно объединить, т.к. для них свойственен один и тот же источник опасности:

Раздражающие химические вещества:

- Источником возникновения вредного фактора является электролит и работа со щелочью;
- По характеру воздействия на организм человека, как уже описывалось ранее это химические ожоги, поражение органов зрения вплоть до слепоты;
- Работа осуществляется с твердыми соединениями натрия, либо калия, поэтому в целом в воздухе будет присутствовать минимальное количество взвешенных частиц;
- Для обеспечения безопасного выполнения работ по приготовлению, замене электролита требуется применение резиновых перчаток и очков для защиты органов зрения. Так же наличие слабых кислот в аптечке первой помощи, например борная, проводится в установленном порядке обучения по оказанию первой помощи при химических ожогах.

Загазованность рабочей зоны:

- Источником возникновения данного опасного фактора не герметичность фланцевых соединений и патрубков, т.е. бесконтрольное наполнение помещения рабочей зоны водородом;

- Водород безвреден для органов дыхания, не имеет цвета и запаха, но образует взрывоопасную смесь с воздухом, с минимальной энергией вспышки 17 мкДж;

- Предельно допустимой концентрации водорода в помещении принято считать 10% от нижнего предела взрываемости т.е. 0.4% на м³;

- В качестве мер для предупреждения необходима установка газоанализатора БПС-21М, а также проведение всех плановых ТО указанных заводом производителем и в инструкции по эксплуатации электролизных установок РД 34.50.501-96, в указанные сроки.

Повышенная температура поверхностей материалов:

- Источником для данного фактора может выступать нарушение правил работы с газовым оборудованием, т.е. работа без СИЗ, также усталость сотрудника может повлечь совершение ошибки, либо отсутствие или избыток опыта работы;

- Нанесение ожогов тканей различной степени тяжести;

- Температура горения пламени водорода 2500°С, поэтому вероятность получения ожогов IV степени имеет вероятность возникновения при неосторожности, но более вероятны ожоги I, II степени за счет соприкосновения с нагретыми обработанными деталями;

- В качестве мер обеспечения безопасности предлагается регулярная проверка СИЗ (перчаток, термостойких фартуков), проведение регулярных обучений по безопасной работе с нагретыми материалами.

Повышенный уровень шума на рабочем месте:

- Причиной возникновения данного вредного фактора является возникновение шума при работе трансформаторов в звуковом диапазоне высоких октав;

- Воздействие данного фактора может сказаться на быструю утомляемость, снижение внимания и сосредоточенности и работоспособности, ухудшение настроения, нарушение сна, общую слабость, повышение раздражительности.

- Для текущей частоты 3906,25 Гц, нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 составит для рабочего места 71 дБ, для лабораторий 52 дБ;

- Для устранения данного эффекта необходимо изучить вопрос по установке конденсатора на силовую цепь трансформатора, для гашения данных акустических колебаний. Издаваемый звук находится на уровне 5-10 дБ, поэтому в применение средств защиты нет необходимости.

Отсутствие или недостаток естественного света:

- Недостаточность освещения может быть вызвана ошибками при проектировании здания, либо выборе недостаточного искусственного освещения.
- Данный вредный фактор будет вызывать повышенную утомляемость органов зрения, при длительной работе в таком режиме, вызовет ухудшение зрительной способности, а также дискомфорт при работе с компьютером, нормы работы с которым описаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;
- Работы с установками водородных горелок могут выполнять как слесарь-ремонтник, так и ювелир, поэтому степень освещенности в данном случае может сильно варьироваться в зависимости от поставленных перед работником задач, т.е. для ювелиров необходима освещенность над рабочим местом 4000 лк, а для обычных работников может быть достаточно 750 лк.
- Для лабораторий согласно СНиП 23-05-95 лабораторий уровень освещенности должен составлять не менее 500 лк. Площадь помещения составляет 9 м², установлено 6 светильников ДПО01-30-002 УХЛ4 с параметрами: мощность 30 Вт, световой поток 2700 лм. Расчет показал, что минимальная освещенность, обеспечиваемая данными светильниками, составляет 550 лк в углах помещения, следовательно, установленные светильники обеспечивают нормы освещенности.

Отклонение показателей микроклимата:

- Работа с нагревающими устройствами всегда связана с повышением температуры окружающей среды. Так же во время исследования процесса импульсного электролиза применяется ЭВМ, что так же предъявляет ряд требований к обеспечению оптимальных параметров микроклимата;
- Повышение температуры сверх норм, опять же может приводить к повышенной утомляемости и ухудшением общего состояния сотрудника, возникновение головокружения и т.п.;
- Указанные выше работы можно отнести к II категории, то оптимальная температура в рабочей зоне не должна превышать 25,1°C. При работе с компьютером требуется соблюдать соотношения положительных и отрицательных аэроионов, регламентированные в СанПиН 2.2.4.1294-03, так же должна проводиться ежедневная влажная уборка и регулярное проветривание каждый час работы;
- В области рабочей зоны должен быть установлен термометр. В качестве мер предупреждения данного вредного фактора, предлагается усилить вытяжную вентиляцию, используемую для устранения загазованности помещения, в случае нарушения

температурного режима, в случае невозможности воплотить модернизацию текущей вентиляции, установить дополнительную. Для работы в лабораторных с ЭВМ требуется установка ионизатора воздуха, а также соблюдение норм и правил обслуживания и работы в помещениях с ЭВМ, которые размещены в инструкции по ОТ при работе на персональном компьютере, с которой сотрудники должны быть предварительно ознакомлены.

6.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.

При исследовании электролизеров на импульсном напряжении возникают такие же опасные и вредные факторы, как и при эксплуатации, меры борьбы с ними такие же. Изменяется распределение вероятностей влияния тех или иных факторов воздействия, например вероятность получения термического ожога для исследователя меньше, но вероятность получения химических ожогов и нарушения работы зрительного аппарата выше, т.к. цели исследователя связаны с модернизацией достигнутых успехов, за счет улучшения состава электролита, проведения моделирования за компьютером.

6.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Применяя рекомендации по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов описанных в п. 2.1. позволит безопасно вести модернизацию процессов изучаемой установки. Так же необходимо делать перерывы при работе за компьютером, согласно инструкции по ОТ 5-10 минут каждый час работы, либо 15-20 минут каждые два часа, для снижения напряжения на зрительные органы, отсутствия переутомления и развития профессиональных заболеваний.

6.3. Экологическая безопасность.

6.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Основным фактором влияния на окружающую среду является повышение эффективности электролизера на 16.6%, по теоретическим подсчетам модернизированный генератор водорода, системой импульсного напряжения будет потреблять 2156 кВт/час в год, в сравнение с обычным постоянным током 2700 кВт/час в год, разница составляет 544 кВт/час.

При учете данных из открытых источников, на производство 1 кВт/час, в России затрачивается 303 г условного топлива, например угля, при сжигании которого образуется углекислый газ CO_2 .

Соответственно разработка каждый год, будет приносить экономию ископаемых ресурсов в количестве 164,8 кг условного топлива. Учитывая, что это только одно устройство, при тиражирование данной модернизации в 1000 экземпляров, экономия будет составлять уже 164,8 тон условного топлива в год. Относительно рассчитанного в данной работе электролизера сокращение выбросов CO_2 составит 442,8 кг в год, что дает экономию для электрогенерирующей компании в размере 17 \$ при рекомендуемых ценах за тонну выбросов углекислого газа 40 \$.

Отработанный электролит может быть отправлен на переработку специализированными службами, вероятность его утечки мала. В случае его утечки в почву происходит повышение pH среды, что снижает плодородность данной земли. В соответствии с этим если при утилизации произойдет утечка электролита в городе, то часть зеленых насаждений может быть уничтожена.

Горение водорода образует только водяной пар. Заменив пропан-бутановые горелки появляется возможность перенаправить ценные углеводороды на производство других нефтехимических продуктов, имеющих большую ценность в рамках истощения природных ресурсов. Отказ от углеводородных горючих веществ так же позволяет снизить выбросы CO_2 .

6.3.2. Анализ «жизненного цикла» объекта исследования.

Одним из преимуществ импульсного электролиза можно считать, протекание реакции электролиза на поверхности электродов, а не по всей площади сечения, это способствуют снижению эрозии и коррозии материалов электродов, что в свою очередь увеличивает их срок службы. На текущий момент исследований в данной области нет, поэтому конкретного срока увеличения срока эксплуатации электродов назвать невозможно.

При активном продвижении данного метода электролиза будет появляться спрос, т.к. сырьем для получения необходимо газа может выступать простая вода, в связи с повышением энергоэффективности, работа таких установок на солнечных панелях станет рентабельной, для частных секторов станет актуально приобретение таких комплексов для отопления дома, при удешевлении технологий твердотопливных элементов, помимо тепла, дома смогут снабжаться электричеством.

В текущей обстановке в мире, появляется все больший спрос на технологии водородной энергетики, автомобильные концерны выпускают свои прототипы, по публикациям из открытых источников ожидается пик спроса на такие автомобили к 2030 году. В вопросе организации заправочных станций для таких автомобилей отличным решением может стать установка локальных электролизных установок. Дальнейшее исследование импульсного электролиза позволит, не только увеличить производительность водородных генераторов, но и дополнительно повысить их ресурсоэффективность. Поэтому данная разработка находится на стадии зарождения. Конечным итогом развития направления импульсного электролиза должен стать поляризационный распад молекулы воды, но для достижения данного процесса необходимо изучение многих аспектов электрохимических процессов, протекающих в воде.

6.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

Единственным отходом работы электролизера является электролит. Предпочтительней отправлять его на переработку в специализированные компании, например компании, занимающиеся аккумуляторными батареями. В случаях его утечки в почву, необходимо обработать пораженный участок добавлением минеральных удобрений: сульфат аммония, молотая сера, сернокислый калий.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

6.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Газогенератор может инициировать ряд ЧС:

Разрыв патрубка во время работы в рабочей зоне с последующим взрывом. Данная ситуация может возникнуть при несвоевременном проведении поверки РВД, падение тяжелого предмета газовый патрубок, перетирание изоляции о острые края окружающих предметов, резком рывке исполнителем работ. Вероятные последствия: взрыв выходящего газа с вероятным поражением работника, повреждение электролизера с повторным взрывом.

Взрыв по утечкам водорода через фланцевые соединения. Для данной ситуации характерно не своевременное техническое обслуживание, т.е. отсутствие протяжки соединений. Вероятные последствия: идентичны предыдущему случаю.

Взрыв самого генератора в связи с возникновением неисправности различного характера. Причиной данного происшествия могут стать неисправности в силовых цепях электроснабжения, цепях управления (безаварийный сбой программного кода, выход модулей из строя), бесконтрольный рост давления, температуры внутри генератора, перегрев из окружающей среды (пожар). Вероятные последствия: взрыв генератора с возникновением пожара, металлические части электролизера могут разлететься на большую дистанцию.

6.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при исследовании объекта.

При исследовании вероятнее всего может произойти ЧС так же в связи с неисправностями самого генератора, либо бесконтрольная ошибка цепей управления при исследовании влияния различных параметров установки, например частоты подачи импульсов напряжения. Это может вызвать явление резонанса в электрической цепи, что в свою очередь может создать дуговой электрический разряд между электродами, в свою очередь энергии разряда будет достаточно для детонации газовой смеси, находящейся в устройстве.

6.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Как упоминалось выше первоочередная задача, размещение генератора за защитным ограждением, выполненным из огнестойкого материала, с усиленным каркасом, для

возможности сдержать взрывную волну и осколки различных материалов. Место расположения генератора не должно располагаться вблизи с нагревательными элементами.

На пути прокладывания газового шланга не должно быть острых предметов, ведется контроль за отсутствием инородных предметов в области работы, весь инструмент должен быть надежно закреплен. При прокладке шланга через защитную стену требуется установка мягких вставок, для исключения перетирания.

Так же для предупреждения ЧС все регламентированное ТО, осмотры, проверки должны проводится точно в срок. Работник в соответствии с инструкциями не имеет права приступать к работам, при просроченных датах проверки затворной арматуры, датчиков КИП и т.д.

Для предупреждения засоров между электродами, установка должна подвергаться периодической чистке.

Электрические силовые контакты должны подвергаться протяжке раз в 6 месяцев, для исключения нагрева и обгорания контактных групп. Системы автоматического управления, плановых и аварийных остановок, так же должны подвергаться проверке каждые 6 месяцев.

Поддерживать средства пожаротушения в исправном состоянии.

В случае возникновения ЧС ситуации:

1. Покинуть зону проведения работ;
2. Помочь покинуть зону проведения работ пострадавшим;
3. Обесточить помещение;
4. Сообщить в пожарную часть о взрыве электролизной установки;
5. Оценить обстановку;
6. Если риски отсутствуют, приступить к самостоятельному устранению очагов локального возгорания с помощью огнетушителя;
7. Дождаться пожарного наряда;
8. После погашения огня включить вытяжку;
9. Выждать 30 минут;
10. Осмотреть место работ и генератор водорода;

11. В случае наличия остаточного газа, убедиться в отсутствие тлеющих элементов, провести стравливание остаточного водорода;
12. До ввода в эксплуатацию провести полное внеплановое ТО установки.

6.5. Выводы по разделу: «Социальная ответственность»

Раздел социальной ответственности показал, что обеспечить все необходимые меры защиты для сотрудников, которые будут эксплуатировать данные устройства непростая задача.

Теоретические расчеты показывают, что использование импульсного электролиза положительно скажется на экологической обстановке, для рассмотренного устройства Optic-350m повышение КПД на 16,6% позволяет сократить выброс CO_2 на 442 кг в год, если рассматривать данную модернизацию в масштабном размере, то сокращение выбросов увеличится до сотен тонн. Это так же положительно скажется на электрогенерирующих компаниях, которые смогут выделить свои свободные мощности на другие объекты инфраструктуры и развития других проектов.

В данном разделе были определены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности как для работодателя, так и для сотрудников. Представлена компоновка рабочей зоны с необходимыми элементами, для безопасного выполнения работ.

Проведенный анализ вредных и опасных факторов показал, что в целом все зависит от сознательности человек.

Проведен анализ возможных ЧС и разработан план действий при ее возникновении, представлены методы для митигации рисков.

Заключение по магистерской диссертации

Проведенные эксперименты с постоянным током и изученной литературой, позволило провести исследование импульсного электролиза, который показал увеличение энергоэффективности на 15.4%. Выявленные гипотезы и теории предоставляют возможность дальнейшего развития данного направления электролиза для достижения поляризационного распада молекулы воды. Из изученных источников понятно, что данный процесс является перспективным как в плане энергоэффективности, так и производительности в целом.

В текущей работе, эксперименты с постоянным током показали, что создание лабораторной водородной ячейки на коаксиальных электродах позволяет прирост производительности ~ в 2 раза, по сравнению с пластинчатыми, при том же КПД. Так же ее реализация показала большой перечень проблем, которые нужно будет учесть при создании опытного образца электролизера.

Проведенный анализ финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Позволил оценить теоретический эффект от установки разработанного принципа на действующие установки, а также целостность, корректность и перспективность проекта, наличие слабых сторон и трудностей для реализации. Определены заинтересованные лица в развитии данной технологии, что в дальнейшем может способствовать инвестициями в исследования.

Проведенный анализ раздела социальной ответственности отражает все необходимые меры обеспечения безопасности при работе с электролизными газогенераторами. Был проведен анализ вредных и опасных факторов не только при исследовании, но и дальнейшей эксплуатации, так же рассмотрены эффекты от воздействия отходов электролизеров на литосферу и атмосферу. Выявлена наиболее вероятная ЧС и разработан соответствующий ей план, позволяющий сохранить жизнь и здоровье сотрудникам, обслуживающим данную установку.

В приложении А приведен перевод экспериментальной части диссертации.

Список источников

1. Vasily Y. Ushakov, Electrical Power Engineering, Current State, Problems and Perspectives. TPU. Springer International Publishing AG 2018. Режим доступа: свободный (13.11.2018), http://portal.tpu.ru/files/personal/ushakov/electrical_power_engineering1.pdf
2. Dubinin A.M., Fink A.V., Kagarmanov G.R., Optimization of operating parameters of endothermic generators with electric heating of retort. Metal Science and Heat Treatment 2009. Режим доступа: свободный (13.11.2018), <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11041-009-9174-0>
3. Scopus, Hydrogen fracturing. Режим доступа: свободный (13.11.2018) <https://www.scopus.com/home.uri?zone=header&origin=searchbasic>
4. Stanley A. Meyer, «The Birthday of new technology», Water fuel cell, Technical brief, Hydrogen fracturing process, Crove City, Ohio, 1995, Режим доступа: свободный (13.11.2018), https://vk.com/doc72110428_365553645?hash=cf3a3a09bfb78824b9&dl=23e8b23c85441b4472
5. Martins Vanags, Janis Kleperis, Gunars Bajars, Water electrolysis with inductive voltage pulses, INTECH, 2012, Режим доступа: свободный (13.11.2018), http://cdn.intechopen.com/pdfs/40142/InTechWater_electrolysis_with_inductive_voltage_pulses.pdf
6. George W. Crabtree, Mildred S. Dresselhaus, Michelle V. Buchanan, The Hydrogen Economy, 2004, Режим доступа: свободный (13.11.2018), <http://saeta.physics.hmc.edu/courses/p80/papers/hydrogen/PhysToday%20Hydrogen%20041239.pdf>
7. Naohiro Shimizu, Souzaburo Hotta, Takayuki Sekiya, Osamu Oda, A novel method of hydrogen generation by water electrolysis using an ultra-short-pulse power supply, 2005, Springer Link. Режим доступа: свободный (13.11.2018), <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10800-005-9090-y>
8. Nigel Monk, Simon Watson, Review of pulsed power for efficient hydrogen production, International Journal of Hydrogen Energy, 2016, Режим доступа: свободный (13.11.2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319915027664>
9. Электронный ресурс. Режим доступа: свободный (13.11.2018). https://physmath.spbstu.ru/userfiles/files/articles/2016/2/ph_2_2016.82_86.pdf
10. Электронный ресурс. Режим доступа: свободный (13.11.2018). http://www1.geol.msu.ru/deps/mineral/wp-content/uploads/2014/10/fm_02_2010_fin.pdf

11. Электронный ресурс. Режим доступа: свободный (13.11.2018).
<http://www.astrolyceum.lpi.ru/PPT/PhCh2.pdf>
12. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно – методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р.Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд- во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
13. Электронный ресурс: режим доступа (свободный) 10.05.2020.
<https://www.hydrogen-severs.com/%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%BD%D1%8B%D0%B5-%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B-%D0%B4%D0%BE-650-%D0%BB-%D1%87/>
14. Электронный ресурс: режим доступа (свободный) 10.05.2020.
<https://markis.su/shop/vodorodny-j-gazogenerator-580-680/>
15. Электронный ресурс: режим доступа (свободный) 10.05.2020.
<https://gronax.ru/WABCO/9500600030-WABCO/>
16. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ. Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева. Издательство ТПУ 2019 год. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020.
http://web.tpu.ru/webcenter/content/conn/WebCenterSpaces-ucm/path/WebCenterSpaces-Root/ood/%d0%a1%d0%9e_2019_%d0%bc%d0%b0%d0%b3%d0%b8%d1%81%d1%82%d1%80%d1%8b,%20%d1%81%d0%bf%d0%b5%d1%86%d0%b8%d0%b0%d0%bb%d0%b8%d1%81%d1%82%d1%8b.pdf
17. Федеральный закон № 421 о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с принятием Федерального закона "О специальной оценке условий труда" от 28 декабря 2013 г.
18. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197 – ФЗ [Электронный ресурс] [(принят Государственной Думой 21.12.2001)]. – Режим доступа: [Консультант плюс].
19. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426 – ФЗ “О специальной оценке условий труда” Дата публикации: 30.12.2013.
20. ГОСТ Р 52350.29.2-2010 (МЭК 60079-29-2:2007) Взрывоопасные среды. Часть 29-2. Газоанализаторы. Требования к выбору, монтажу, применению и техническому

обслуживанию газоанализаторов горючих газов и кислорода. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://docs.cntd.ru/document/1200081656>

21. СТО 70238424.27.100.050-2009 Электролизные установки электрических станций. Организация эксплуатации и техническое обслуживание. Нормы и требования. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://docs.cntd.ru/document/1200093676>

22. ГОСТ Р 55059 – 2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2014 – 8 с.

23. РД 34.50.501-96 Типовая инструкция по эксплуатации электролизных установок для получения водорода и кислорода. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://www.gosthelp.ru/text/RD345050196Tipovayainstru.html>

24. МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ПРАВИЛА ПО ОХРАНЕ ТРУДА (ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ) ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://xn---7sba1awl6bc3f.xn--p1ai/f/mpot.pdf>

25. Конституция Российской Федерации. [Электронный ресурс]: [(принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных ФЗ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6–ФЗ, от 30.12.2008 N 7–ФЗ)]. //Российская газета. – 21.01.2009. – № 7. – Режим доступа: [Консультант плюс].

26. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123–ФЗ // Собрании законодательства Российской Федерации. – 2008. – №30. – Ст. 3579.

27. ПУЭ: Глава 7.10. Электролизные установки и установки гальванических покрытий. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://etp-perm.ru/el/pue/razdel-7.-elektrooborudovanie-speczialnyix-ustanovok/pue-glava-7.10.-elektroliznyie-ustanovki-i-ustanovki-galvanicheskix-pokryitij>

28. Российская газета. Статья: «Показатели удельного расхода условного топлива в тепло- и электроэнергетике России». Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://rg.ru/2019/03/04/rashod-topliva-pri-vyrabotke-elektroenergii-v-rossii-snizilsia.html>

29. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОДОРОДА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ 03-598-03. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/245093/

30. СРО НП «МАЭ». Статья: «Методика расчета выбросов парниковых газов (CO²-эквивалента)». Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020.
<https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyykh-gazov>
31. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020.
https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/252459/
32. Поступи Онлайн. Статья: Профессия «Слесарь по эксплуатации и ремонту газового оборудования» на рынке труда России. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://postupi.online/professiya/slesar-po-ekspluatacii-i-remontu-gazovogo-oborudovaniya/>
33. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра и специалиста всех направлений (специальностей) и форм обучения ТПУ. Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева. Издательство ТПУ 2019 год. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020.
http://web.tpu.ru/webcenter/content/conn/WebCenterSpaces-ucm/path/WebCenterSpaces-Root/ood/%d0%a1%d0%9e_2019_%d0%bc%d0%b0%d0%b3%d0%b8%d1%81%d1%82%d1%80%d1%8b,%20%d1%81%d0%bf%d0%b5%d1%86%d0%b8%d0%b0%d0%bb%d0%b8%d1%81%d1%82%d1%8b.pdf
34. Федеральный закон № 421 о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с принятием Федерального закона "О специальной оценке условий труда" от 28 декабря 2013 г.
35. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197 – ФЗ [Электронный ресурс] [(принят Государственной Думой 21.12.2001)]. – Режим доступа: [Консультант плюс].
36. Федеральный закон Российской Федерации от 28 декабря 2013 г. N 426 – ФЗ “О специальной оценке условий труда” Дата публикации: 30.12.2013.
37. ГОСТ Р 52350.29.2-2010 (МЭК 60079-29-2:2007) Взрывоопасные среды. Часть 29-2. Газоанализаторы. Требования к выбору, монтажу, применению и техническому обслуживанию газоанализаторов горючих газов и кислорода. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://docs.cntd.ru/document/1200081656>
38. СТО 70238424.27.100.050-2009 Электролизные установки электрических станций. Организация эксплуатации и техническое обслуживание. Нормы и требования. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020.
<http://docs.cntd.ru/document/1200093676>

39. ГОСТ Р 55059 – 2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2014 – 8 с.

40. РД 34.50.501-96 Типовая инструкция по эксплуатации электролизных установок для получения водорода и кислорода. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://www.gosthelp.ru/text/RD345050196Tipovayainstru.html>

41. МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ ПРАВИЛА ПО ОХРАНЕ ТРУДА (ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ) ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://xn----7sba1awl6bc3f.xn--p1ai/f/mpot.pdf>

42. Конституция Российской Федерации. [Электронный ресурс]: [(принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных ФЗ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6–ФЗ, от 30.12.2008 N 7–ФЗ)]. //Российская газета. – 21.01.2009. – № 7. – Режим доступа: [Консультант плюс].

43. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123–ФЗ // Собрании законодательства Российской Федерации. – 2008. – №30. – Ст. 3579.

44. ПУЭ: Глава 7.10. Электролизные установки и установки гальванических покрытий. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <http://etp-perm.ru/el/pue/razdel-7.-elektrooborudovanie-speczialnyix-ustanovok/pue-glava-7.10.-elektroliznyie-ustanovki-i-ustanovki-galvanicheskix-pokrytij>

45. Российская газета. Статья: «Показатели удельного расхода условного топлива в тепло- и электроэнергетике России». Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://rg.ru/2019/03/04/rashod-topliva-pri-vyrobote-elektroenergii-v-rossii-snizilsia.html>

46. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОДОРОДА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИЗА ВОДЫ 03-598-03. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/245093/

47. СРО НП «МАЭ». Статья: «Методика расчета выбросов парниковых газов (CO²-эквивалента)». Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovyx-gazov>

48. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/252459/

49. Поступи Онлайн. Статья: Профессия «Слесарь по эксплуатации и ремонту газового оборудования» на рынке труда России. Электронный ресурс. Режим доступа: (свободный) 7.05.2020. <https://postupi.online/professiya/slesar-po-ekspluatacii-i-remontu-gazovogo-oborudovaniya/>

Приложение А

(справочное)

The study of the process of pulsed electrolysis of water

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM8B	Ложкин Анатолий Сергеевич		10.05.2020

Руководитель ВКР _____

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Дмитрий Юрьевич	к.т.н, доцент		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воробьева Виктория Владимировна	к.ф.н, доцент		

1. Study of the main processes of water electrolysis

1.1. Experiments to identify the main parameters for the manufacture of an experimental setup. Experiment No. 1

On the topic: assessment of the influence of distance, current magnitude and area of electrodes on electrolyzer productivity.

Objective: to conduct research on the impact on the performance of the following factors: current magnitude, distance between electrodes, electrode area.

Equipment: laboratory autotransformer, diode bridge, conductors, volumetric test tube, water.

- Cold, domestic water was used as an electrolyte;
- Copper electrodes were used.

In measurement No. 1, the effect of the current value on the generated hydrogen volume was evaluated. Distance between electrodes at $l=10$ mm, sectional area was $0,2 \text{ mm}^2$. Countdown to $1 \text{ cm}^3 \text{ H}_2$. The energy of combustion of this volume is equal to 11.674 J . Hydrogen density accepted $0,0898 \text{ kg/m}^3$. Specific heat of combustion 130 MJ/kg . The measurement results are presented in the table 1.1.1

Table 1.1.1. Measurement results No. 1

Volume V, cm^3	1	1	1
Current I, mA	10	20	30
Voltage U, V	47,2	92	148
Time t, min	9,34	6,2	3,5
linear coefficient K1	1,51	1,77	
linear coefficient K2	2,67		
Power P, W	0,472	1,84	4,44
Cons. Energy J, J	264,5	684,48	932,4
Efficiency	0,044	0,017	0,013

Calculation example for the first column:

$$P = I \cdot U = 0.01 \cdot 47.2 = 0.472 \text{ W};$$

$$J = P \cdot t = 0.472 \cdot 9.34 \cdot 60 = 264.5 \text{ J};$$

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Combustion energy} \cdot H^2}{J} = \frac{11.674}{264.5} = 0.044;$$

According to the data from table 1.1.1, a graph of the dependence of the filling of 1 cm³ of hydrogen on the flowing current in the circuit is constructed, shown in Figure 1.1.1.

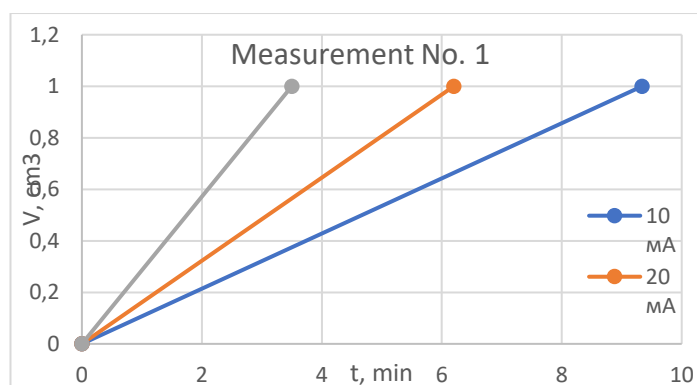


Fig. 1.1.1. Graph of hydrogen generation at $l = 10 \text{ mm}$

According to the obtained graph, we can conclude that the increase in productivity depends linearly on the current flowing through the electrodes. The obtained efficiency also does not take into account losses in electric energy conversion devices. Random error cannot be ruled out, as measurement took place on analog instruments.

Further measurements were taken to determine the distance to the performance

In measurement No. 2, measurements were taken at $l = 20 \text{ mm}$, the results are shown in table 1.1.2.

Table 1.1.2. Measurement results No. 2

Volume V, cm ³	1	1	1
Current I, mA	10	20	30
Voltage U, V	58	122	170
Time t, min	9,42	6,25	3,75
linear coefficient K1	1,5072	1,67	
linear coefficient K2	2,512		
Power P, W	0,58	2,44	5,1
Cons. Energy J, J	327,816	915	1147,5
Efficiency	0,036	0,0128	0,0102

Based on the calculated data, a graph was built in Figure 1.1.2.

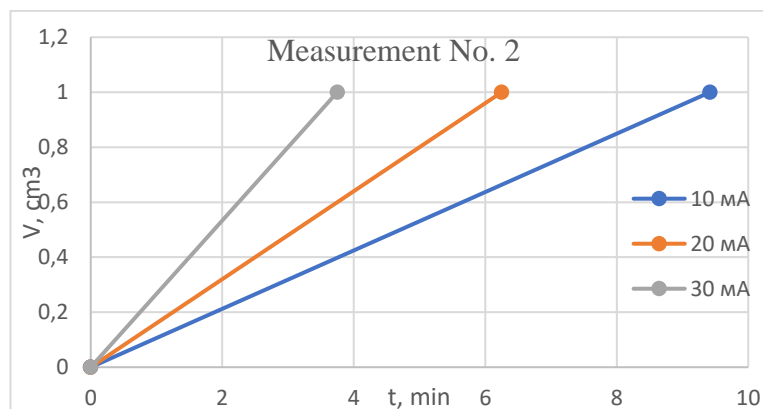


Fig. 1.1.2. Schedule of hydrogen generation at $l = 20$ mm

From this measurement, we can conclude that an increase in the distance between the electrodes leads to a decrease in productivity. For measurements 1 and 2, this decrease is approximately 1%.

In the third measurement, the influence of the cross-sectional area of the electrodes was evaluated with a five-fold increase in the cross-sectional area of the electrodes, the results are shown in table 1.1.3.

Table 1.1.3. Measurement results No. 3

Volume V , cm^3	1	1
Current I , mA	10	20
Voltage U , V	84	163
Time t , min	9,67	6,17
linear coefficient $K1$	1,567261	
Power P , W	0,84	3,26
Cons. Energy J , J	504	3912
Efficiency	0,023163	0,0029842

Based on the calculated data, a graph was built in Figure 1.1.3.

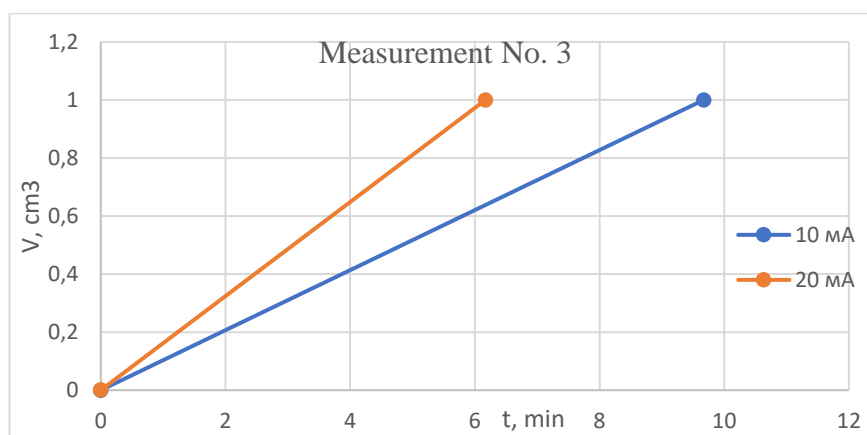


Fig. 1.1.3. Schedule of hydrogen generation at section = 2.5 mm²

As can be seen from the data obtained, the performance remains almost unchanged, but the losses increased significantly.

Conclusions from experiment No. 1:

During the experiment, it was found that the electrolysis process:

- Current magnitude affects linearly;
- Increased distance leads to reduced productivity;
- An increase in cross-sectional area does not affect performance, but an increase in cross-section allows the transfer of a larger current through the electrodes. When such electrodes are underloaded, losses increase.

The efficiency of the laboratory electrolyzer is estimated to be no more than 4.4%.

1.2. Experiment No. 2

On the topic: Evaluation of the effect of installing a plastic partition for physical gas separation

Objective: to conduct research on the effect of installing a partition between coaxial electrodes during the electrolysis process.

Equipment: DC 12 V source, electrodes made of gas and steel pipes with diameters $\frac{1}{2}$ " and $\frac{3}{4}$ ", water.

In the process of electrolysis of water creates an "explosive mixture" $2H^2+O_2$, which is an explosive mixture with minimal ignition energy, because the generated mixture is in stoichiometric

proportions. In this regard, to ensure safety, gas separation should be carried out, this is possible using ionic membranes or physical separation of the cathode and anode, but for coaxial electrodes this measure is difficult to implement, so an experiment was conducted with a plastic pipe to separate gas media, the results are given below.

Measurement No. 1 was carried out without installing a partition to obtain the initial current between the electrodes. The results of all measurements are summarized in table 1. It was also revealed that gas was formed only between the electrodes at the interface, there were almost no gas bubbles on the outside of the cathode.

Measurement No. 2 was carried out with the installation of the partition and the following conditions, the location of the electrodes with respect to it $x = 8 \text{ mm}$, $y = 5 \text{ mm}$, this is schematically shown in Fig. 1.2.1.

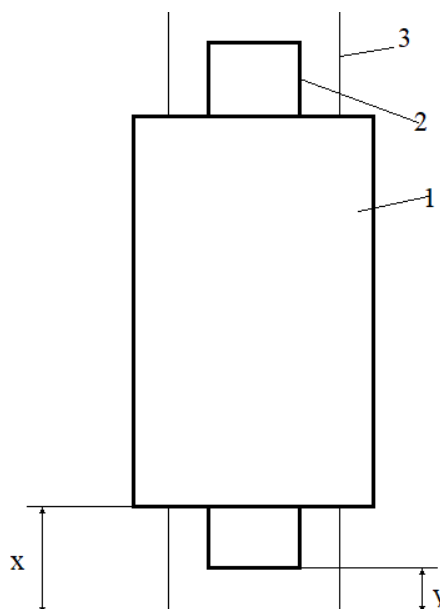


Fig. 1.2.1. Schematic representation of the electrodes and the septum, where 1 - cathode, 2 - anode, 3 is the plastic septum, x , y are the indicated distances

Measurement No. 3 was also carried out with a partition, $x = 0 \text{ mm}$, $y = 0 \text{ mm}$.

Due to the extremely low currents, it was decided to make holes with a diameter of 1 mm along the partition area ~ equal to the inner side of the cathode (Fig. 1.2.2. This was done under the conditions of advancing the theory that through openings of such a diameter the current can freely pass from the anode to the cathode, but there will be no mixing of gases.



Fig. 1.2.2. Partition after processing

Measurement No. 4 with a new partition $x = 10$ mm, $y = 0$ mm, is given in table. 1.2.1.

Measurement No. 5 at $x = 0$ mm, $y = 0$ mm.

Table 1.2.1. Measurement results

No.	I, A
1	1,2
2	0,001
3	0,05
4	0,1
5	0,2

Conclusion from experiment No. 2: during the experiment it was revealed that the plastic partition for the physical separation of hydrogen and oxygen during electrolysis is absolutely not suitable.

The measurement results show that installing a plastic partition greatly reduces the current throughput and many times reduces the system current. This may be due to the fact that electrons accumulate precisely on this tube, and only a small part gets on the cathode.

Various Internet sources say that you can use glass, asbestos cloth for such devices. Due to the high prices for the implementation of such decisions, it was decided to work without a dividing wall. In the future, when calculating the technical and economic parameters, it is taken into account that the produced gas volume will be in a ratio of 2: 1. To ensure safe operation under such conditions of gas generation, a number of measures are required, which will be described below.

1.3. Experiment No. 3

On the topic: Evaluation of the influence of the shape of the electrodes on the efficiency of electrolysis

Objective: to evaluate the performance of electrolysis when using plate and coaxial electrodes.

Equipment: 12 V source, electrodes: plate, coaxial.

- Electrode material: aluminum, surface area $S = 7.85 \mu\text{m}^2$.

The use of coaxial electrodes greatly complicates the implementation of the hydrogen cell; in this regard, an experiment was conducted to evaluate the effectiveness of this form of the factor.

For his experiment, electrodes were made, each of which had the same area indicated above. Then they were placed in a glass measuring tube, the volume of gas released was measured by a column of displaced water. The current was measured using a multimeter. Table 1.3.1 shows the measured and calculated values.

Table 1.3.1. Experimental and calculated data

Coaxial electrodes			
Measurement No.	1	2	3
Voltage	12	12	12
Current, A	0,795	0,885	0,775
Time, s	53	41	60
Water column height, mm	96	89	120
Power, W	9,54	10,62	9,3
Cons. Energy, J	505,62	435,42	558
Volume detonating gas, m^3	0,00000754	0,00000699	0,00000942
Volume H_2 , m^3	0,00000502	0,00000466	0,00000628
Weight H_2 , kg	0,00000045	0,00000042	0,00000056
Combustion energy H_2	58,65	54,37	73,31
Efficiency for H_2	0,12	0,12	0,13
Productivity, l/min	0,006	0,007	0,006
Plate electrodes			
Measurement No.	1	2	3
Voltage	12	12	12

Current, A	0,35	0,29	0,3
Time, s	60	38	40
Water column height, mm	50	40	48
Power, W	4,2	3,48	3,6
Cons. Energy, J	252	132,24	144
Volume detonating gas, m ³	0,00000393	0,00000314	0,00000377
Volume H ₂ , m ³	0,00000262	0,00000209	0,00000251
Weight H ₂ , kg	0,00000023	0,00000019	0,00000023
Combustion energy H ₂	30,55	24,44	29,33
Efficiency for H ₂	0,12	0,18	0,20
Productivity, l/min	0,003	0,003	0,004

Conclusion from experiment No. 3: based on the data obtained, we can conclude that coaxial electrodes have a twofold increase in productivity with a relatively equal efficiency. The problem is the complexity of such an assembly. The generation of explosive gas is not a problem. It has a spontaneous combustion temperature of 510 degrees at n.o. An installation installed in rooms without elevated temperatures or outdoors should not detonate spontaneously. Do not forget that hydrogen in any case is the most volatile substance on Earth, and in case of TB violation it will explode in any case, with the release of a large amount of energy, this is due to a wide range of explosive concentrations from 5 to 95% of the content in the air.

During this experiment, a coaxial system was used in which the distance between the outer diameter of the inner and outer diameters of the outer pipe was 1 mm. In the process of electrolysis, it was noticed that foam is formed, which gets stuck in a given volume, thereby creating a zone in which the reaction is absent, which also significantly reduces the productivity of the cell as a whole. An outer tube of a larger diameter was purchased, with the distance between them becoming 2 mm. At a given distance, such an effect was not observed, all derivatives of the reaction rose freely, so this gap was taken as a standard.

In connection with the above conclusions, it was decided to create an experimental cell with coaxial electrodes, because performance indicator is significant for portable devices, as well as for the industry as a whole.

1.4. Conclusions on the experimental part:

For the implementation of an experimental cell operating on pulsed voltage, coaxial electrodes made of steel 310 / 316L or tungsten are required; these materials are resistant to corrosion and chemically active environments. This solution will make it possible to operate the unit in the long run without unscheduled cleanings.

According to the article studied, preference in the implementation should be given to tungsten electrodes due to the absence of adsorption peaks.

During the experiments, it was revealed that the optimal distance between the electrodes should be 2 mm.

Coaxial electrodes provide greater performance ~ 2 times more than that of plate electrodes; one of the explanations for this phenomenon may be the best electromagnetic field propagation efficiency.

2. Cell manufacturing

2.1. The basic structure of the cell

As mentioned earlier, a hydrogen cell will generate explosive gas. For safe operation with such a device, installation of additional devices is required. Figure 2.1.1 shows the cell structure, which is suitable for measuring cell performance and testing the electrical circuit.

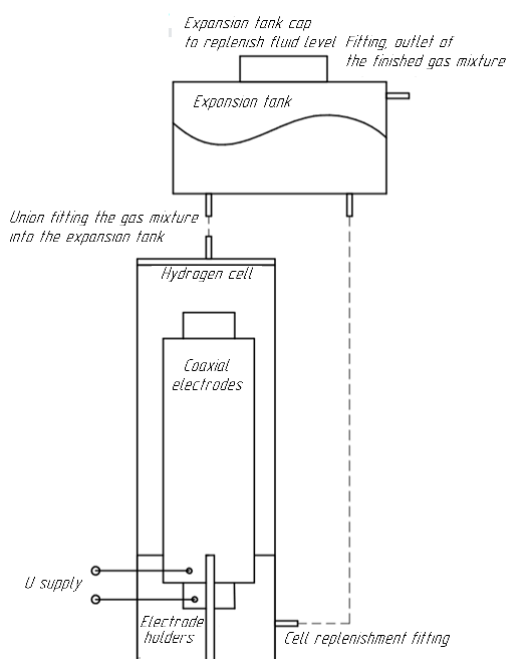


Fig. 2.1.1. The basic structure of the cell

Installation of an expansion tank, to ensure the circulation of water and foam in the process of obtaining an explosive mixture, the tank is filled with water, all air from the system is vented, and there is a constant circulation of water through the cell due to the installation of a recharge nozzle in the lower part. The lid on the expansion tank allows you to replenish water during operation.

Power cables are routed through the cell body, sealed and sealed. A margin of length has been left to allow removal of electrodes for cleaning.

A sealed cover was made with an opening for one M10 fitting, for outputting the generated gas into the expansion tank through a layer of water. This provides the first safety condition for electrolysis plants, namely, protecting the cell from a direct flame in the event of a gas fire.

This cell will allow you to measure performance by the method of water displacement, setting an additional capacity, but for real use, for example, for the operation of a gas burner, it is necessary to provide a number of mandatory conditions, namely a fire prevention valve located as close to the burner working area as possible, leak test the device as a whole, as well as checking for operation at the pressure created by the cell. These measures are sufficient for the safe use of the device as a flame device.

2.2. Electric circuit

In the present work, a simplified electric circuit of the pulse voltage is accepted for research, to conduct an initial quantitative assessment of the increase in indicators, to justify further research and funding from interested parties.

Specifically, in this case, a step-up high-frequency transformer is not used, chokes to create a voltage resonance, blocking the anode current diode, these components during further investigation, will achieve polarized electrolysis, described in studies by Stanley A. Meyer.

A schematic diagram of the generation of pulsed DC voltage is shown in Figure 2.2.1.

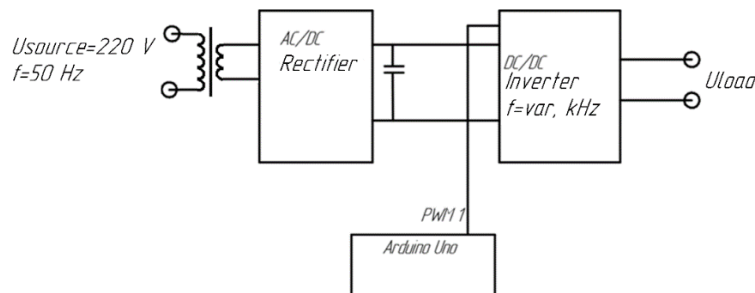


Fig. 2.2.1. Wiring diagram for a pulsed electrolysis process. Consists of an AC 220 V source; step-down transformer with $K_{tr}=18$; C - filter; MOSFET transistor for DC / DC conversion; as a control system Arduino Uno control board

Arduino was chosen as a control device due to the simplicity of programming and the ability to work with frequencies up to 62.5 kHz, but because MOSFET transistor is calculated up to 20 kHz, we will limit ourselves to this frequency.

To set the frequency and duty cycle, a PWM signal is set for the MOSFET transistor in the Arduino program environment, the following program is compiled:

```
Int pwm;

Void setup() {

}

Void loop() {

Pwm=analogRead(0);

Pwm=map(pwm,0,1023,0,255);

Pwm=constrain(pwm,0,255);

analogWrite(3,pwm);

}
```

This part of the program is responsible for the duty cycle of the PWM signal, but the frequency in Arduino can be set simplified by setting the initial values in accordance with table 2.2.1, which shows the standard functions for changing the frequency by one or another value

Table 2.2.1. Required program lines for setting specific frequencies

Resolution	PWM Frequency	Mode Setting Commands
8 bit	62 500 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x09;
	7 812,5 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0a;
	976,56 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0b;
	244,14 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0c;

	61,04 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 1; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0d;
9 bit	31 250 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x09;
	3 906,25 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0a;
	488,28 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0b;
	122,07 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0c;
	30,52 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 2; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0d;
10 bit	1 5625 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x09;
	1 953,13 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0a;
	244,14 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0b;
	61,04 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0c;
	15,26 Hz	TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 3; TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 0x0d;

Thanks to this table, the influence of the pulse frequency and voltage amplitude will be studied and the optimum value selected.

For example, you need a frequency of 1953.13 Hz, with a voltage amplitude of 50% of the original, then the Arduino software environment will be written:

```
Int pwm;
```

```
Void setup() {
```

```

TCCR1A = TCCR1A & 0xe0 | 3;

TCCR1B = TCCR1B & 0xe0 | 0x0a;

pinMode(9, OUTPUT);

analogWrite(9,1023)

}

Void loop() {

Pwm=analogRead(0);

Pwm=map(pwm,0,1023,0,255);

Pwm=constrain(pwm,0,255);

analogWrite(9,126);

}

```

Figure 2.2.2 shows the waveform of the generated voltage at the output of the transistor at a frequency of 3906.25 Hz.

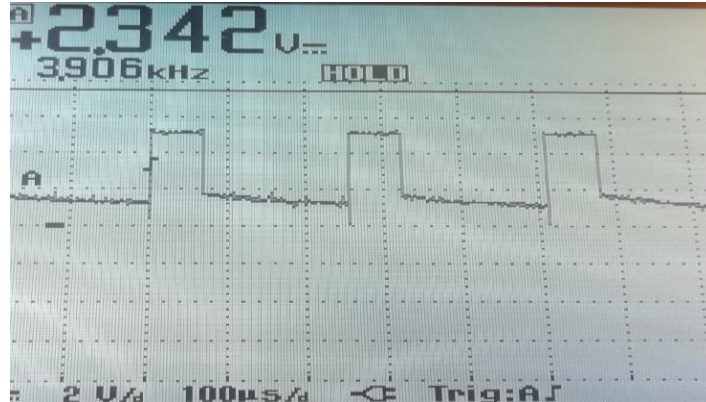


Fig. 2.2.2. Waveform of the output voltage on the transistor

2.3. Cell implementation

A hydrogen cell was assembled according to the above schematic diagram. As the electrodes, coaxial electrodes of the water-gas steel grade were selected $\frac{1}{2}$ " $l=120$ mm and $\frac{3}{4}$ " $l=100$ mm, because similar tubes made of tungsten or steel 310 / 316L were much more expensive and it would not be economically feasible to conduct a study.

The parameters of the obtained coaxial electrodes were measured, namely, capacitive and active resistance. The capacitance was $C = 1.6$ mF, and the active component was $R = 250$ Ohms.

3. The experimental part

3.1. Experimental cell performance measurements

To test the effect of pulse voltage on the performance and efficiency of a hydrogen cell, the following measurements were carried out:

- Direct connection to a direct current source;
- Connection through a MOSFET transistor at frequencies: 7 812.5 Hz; 3,906.25 Hz; 30.52 Hz.

Before the experiments, the electrodes were mechanically cleaned, as well as washed in acetone and distilled water.

Direct connection in this case is necessary to obtain the initial values of productivity and efficiency, which are taken as the basis in establishing the results from the implementation of the pulse voltage.

The results of measurements of voltage, current, and filling time of a 5 ml tube are presented in Table 3.1.1.

Table 3.1.1. Measurement results

No.	Name of measurement	U, V	I, A	t ₁ , s	t ₂ , s	t ₃ , s	t _{cp} , s
1	Direct connection	11,7	1,48	34	32	35	33,7
2	At a frequency of 7 812.5 Hz, $K_{dc} = 0.844$	8,4	0,4	73	70	72	71,7
3	At a frequency of 3 906,25 Hz, $K_{dc} = 0.844$	4,2	0,2	200	205	195	200

4	At a frequency of 30,52 Hz, K_{dc} = 0.844	6,3	0,38	112	120	117	116,3
---	---	-----	------	-----	-----	-----	-------

We will calculate the performance and efficiency of the obtained values from table 3.1.1, given that the mixture burns completely, the hydrogen parameters are as follows:

- The density of hydrogen adopted 0,0898 kg / m³;
- Specific calorific value 130 MJ / kg;

The calculation data are given in table 3.1.2.

Table 3.1.2. Calculation of performance indicators

No.	V _{test tube} , ml	V _{H2} , cm ³	P, W	E, J	E _{H2}	Efficiency	Efficiency _{impulse} / Efficiency _{direct}	Q, cm ³ /s	Q _{impulse} / Q _{direct}
1	5	3,3	17,3	584	38,91	0,067	- impulse	0,099	
2			3,4	244		0,160	2,393753	0,046	0,47
3			0,9	176		0,221	3,31562	0,017	0,17
4			2,4	283		0,138	2,061471	0,029	0,29

, where P is the active power (for experiments 2-4, the consumption of the Arduino Uno 40 mA control board was taken into account); E is the energy consumed in the electrolysis process, E_{H2} is the combustion energy of a specified volume of hydrogen; Efficiency - the ratio of the energy of hydrogen combustion to the spent on the electrolysis process; Efficiency_{impulse}/Efficiency_{direct} - the ratio reflecting the effectiveness of the application of the pulse voltage compared with the direct connection of the electrodes, Q - hydrogen performance.

From the calculated values obtained, it can be seen that the use of pulsed voltage significantly increases the efficiency of the system compared to direct connection, this was especially manifested for a frequency of 3 906.25 Hz, a number of articles [9-11] indicated that there are a number of frequencies optimal for water to derive a molecule from the equilibrium state, which makes it possible to break it with minimal expenditure of energy. The articles indicate frequencies of 1595, 3657, 3756 Hz, in turn, the latter is close to the frequency used in this experiment 3906.25 Hz, which showed the greatest energy efficiency, but the lowest productivity.

The next step is to carry out the test according to the Meyer scheme, but due to the difficult epidemiological situation in the world, there was a problem with the supply of necessary spare parts,

therefore it is not possible to check the operation of the cell in the scheme, because a number of electrical equipment is required, the analogues of which in Tomsk are of high cost, namely a high-frequency step-down transformer AC / AC, a high-frequency step-up transformer DC / DC, 2 inductors for 24 mH, 2 inductors for 12 mH.

Even without taking into account the implementation of the Meyer scheme, a significant increase in efficiency was achieved by 3.31 times, with a decrease in productivity of 0.17 times, but this is only an experimental low-performance cell. With further study of this issue, it will be possible to calculate the necessary installation volumes for a workable installation, because, for example, for the efficient use of gas burners, the gas mixture capacity is 1 l / min, with a current for 3906.25 Hz 0.0000165 l / min.

It was also noted that in the process of electrolysis at a pulsed voltage, abundant exfoliation of rust from the electrodes occurred. This effect was not observed with direct connection. This may be due to the processes indicated in the article “Electrolysis of water with pulsed inductive voltage”, i.e. the current flows only along the surface of the electrodes, and not over the entire cross-sectional area of the electrode, which also allows to reduce the thickness of the electrodes.

It is worth noting that this installation in case of lack of performance can be installed as a stationary generator, the generated gas will be placed in the receiver. In the future, it can be pumped into individual cylinders and can easily use portable devices (burners), heat boilers, when using separators, it can refuel cars, etc. This development has prospects, because often there are thoughts on how to increase the efficiency of power plants as a whole, rather than a single electrochemical process, therefore this development can find a response both in metalwork and repair tasks, as well as in entire industries, for example, aluminum smelters that extract direct metal from ore melt by electrolysis.

3.2. Recommendations for making a working prototype

After carrying out the above measurements and the experimental cell as a whole, there are a number of notes that will need to be taken into account when creating working prototypes:

A reserve is required for the height of the casing with electrolyte / water, as during the course of the reaction, a foam is formed with other derivatives that might not have been taken into account during the manufacturing process of the cell, an expansion tank ensures the circulation of this foam, but there will be no reserve, then part of the electrode will be in the gaseous medium, accordingly, the reaction in this area will not proceed.

The case should be accessible for technological cleaning, as well as connecting power conductors to the electrodes, it may make sense to make special fasteners for the cable inside the camera, because you need a supply of cable inside the tank for seamless connection of electrodes, or make electrodes with a plug connector at the bottom of the working tank.

Particular attention should be paid to sealing all openings, pipes, etc. Faced the problem of the system flowing inside the insulation of the wires, i.e. water flowed in small drops onto the power contacts of the MOSFET transistor, as part of the current work, crimped the contacts with the application of heat shrink, but you should be aware of a similar problem.

The electrode mounting plates should be installed both from below and from above, in order to exclude the probability of shorting the electrodes, if the unit is used as a portable device, the location of the electrodes under normal conditions is vertical, deviations are allowed, but not horizontal, will entail the same effect as described earlier, will be present a substantial area of gassed space.

The generated gas mixture is explosive; therefore, the temperature conditions of operation of both the installation and the environment should be taken into account, if possible, duplicate protective devices, such as a water shutter, fire-retardant valve, for example, at the outlet of the generator, after the expansion tank (which generally acts as a water tank) should be installed water shutter, additionally install another capacity of the water shutter, after it a fire-retardant valve, and then lead the pipe to the working device, on this mixture. For example, in front of the handle of the burner, a flame arrest valve must be installed.

Conclusion

Summing up the above material, it is worth noting the achievement of goals in terms of improving the energy efficiency of the electrolysis process and the use of high-frequency pulses. This shows the correct direction for the development of the idea of polarization electrolysis due to the high electrostatic field.

It can be seen from measurements and sources that at certain frequencies, the energy consumption for breaking a water molecule is significantly reduced, while productivity is reduced, but this is not a determining factor, because with low energy consumption, such plants will be able to work seamlessly on solar panels, providing uninterrupted power and heat supply for private houses, and significantly reduce the load on power generating companies that supply large plants, which are based on the principle of electrolysis. It can give a significant impetus to the development of automotive industry on solid fuel cells, by organizing cheap gas stations that could provide themselves autonomously, if there are a well or other water source and solar panels in the regions favorable for their use.